

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

CAMILA FELICIANO

MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA REDE SEMAFÓRICA DE  
JOINVILLE

Joinville

2016

CAMILA FELICIANO

MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA REDE SEMAFÓRICA DE  
JOINVILLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia de Transportes e  
Logística da Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Gian Ricardo Berkenbrock

Joinville

2016

CAMILA FELICIANO

MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA REDE SEMAFÓRICA DE  
JOINVILLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia de Transportes e  
Logística da Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

---

**Prof. Dr. Gian Ricardo Berkenbrock**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Rodrigo Castelan Carlson**  
Membro 1

---

**Prof. Dr. Pablo Andretta Jaskowiak**  
Membro 2

Joinville

2016

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, presente em minha vida e de minha família, por me acompanhar sempre, me dando força, sabedoria e fé durante todos esses anos de curso.

Aos meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para que eu realizasse meus sonhos, acreditaram em mim e me incentivaram durante toda a minha vida, essa vitória é pra vocês.

Ao meu noivo, Luan, que acreditou em mim e me deu forças durante essa jornada. Obrigada por aguentar e enfrentar comigo todas as dificuldades encontradas no caminho.

Agradeço especialmente ao meu orientador Prof. Gian Ricardo Berkenbrock, por acreditar em mim e por toda paciência que teve, mesmo quando as dificuldades pareciam impossíveis de serem superadas.

Aos professores que tive durante toda a minha vida, especialmente a todos os professores de Engenharia de Transportes e Logística, muito obrigada por fazerem parte da minha formação. Também aos colaboradores da UFSC, em especial a Luciana, que sempre esteve disposta a ajudar.

Aos amigos que fiz no IPPUJ e que também contribuíram no desenvolvimento deste trabalho e na minha formação profissional. Principalmente ao Luiz, que me ensinou muito durante o período que estive lá, você é exemplo de dedicação e profissionalismo.

A equipe do DETRANS, principalmente ao Sereide, que forneceu os dados necessários para este trabalho e que teve toda a paciência para me ajudar e explicar em todas as dúvidas que tive.

Aos colaboradores do fórum do MATSim, em especial a Theresa Thunig, que me ajudou em todas as etapas de tratamentos de dados, me explicando e auxiliando sobre o funcionamento do programa. Também à Senozon AG, através de Mr. Rieser, que forneceu uma licença do programa Via, o que permitiu a análise e visualização dos resultados obtidos.

Ao Prof. Diogo Nardelli Siebert pela atenção ao permitir o acesso ao Laboratório de Computação Científica.

Por fim, agradeço a todos os amigos que fiz durante esses anos de curso, que estiveram presentes em tantos momentos especiais. Especialmente à minha amiga Ana Paula, amizade que surgiu no estágio e espero preservar pra vida toda, que enfrentou comigo esse desafio e sempre me incentivou a seguir em frente, conseguimos amiga!!

*“Bom mesmo é ir à luta com determinação,  
abraçar a vida com paixão, perder com classe e  
vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a  
quem se atreve...”*

*(Charles Chaplin)*

## Resumo

O crescimento acelerado da população e em decorrência disso, o aumento do número de veículos, torna a demanda da população por mobilidade e acessibilidade cada vez maior. Para ajudar a suprir essa demanda, o planejamento de transportes busca promover o acesso à rede viária, com o objetivo de propor a melhor configuração possível desta. Uma das ferramentas que auxilia a tomada de decisões no planejamento, são os simuladores de tráfego, que por meio da construção de cenários, podem avaliar o desempenho de diferentes propostas para a rede viária. Com base nesse contexto, este trabalho tem como objetivo calcular o nível de serviço das vias semaforizadas de Joinville/SC, a partir de um modelo já criado para a cidade e utilizando o simulador de tráfego MATSim, o qual é baseado em simulação de agentes. Para isso necessitou-se coletar os dados referentes à rede semafórica e adequá-los ao modelo. Como resultado final, pôde-se observar a variabilidade do nível de serviço durante o período de um dia, assim como o nível médio experimentado pelos usuários.

**Palavras-chave:** Mobilidade. Simuladores de Tráfego. Semáforos. Nível de Serviço. MATSim.

## Abstract

The accelerated growth of the population and, as a result, the increase in the number of vehicles, the population demand for mobility and increasing accessibility becomes bigger. To help supply this demand, transportation planning seeks to promote access to the road network, with the objective of proposing the best possible configuration. One of the tools that helps decision making in planning is the traffic simulators, which through the construction of scenarios can evaluate the performance of different proposals for the road network. Based on this context, this work has as objective to calculate the service level of roads with traffic lights of Joinville / SC, using a model already created for the city and using the traffic simulator MATSim, which is based on simulation of agents. For this, it was necessary to collect the data referring to the traffic light network and to adapt them to the model. As a final result, it was possible to observe the variability of the level of service during the period of one day, as well as the average level experienced by the users.

**Keywords:** Mobility. Traffic Simulators. Traffic Lights. Service Level. MATSim.

## Lista de Figuras

Figura 1	Nível de serviço para semáforos isolados e em rede.....	21
Figura 2	Localização dos pontos de contagem de tráfego do modelo de 2015.....	25
Figura 3	Localização dos pontos de contagem de tráfego adicionados ao modelo....	26
Figura 4	Desenho da rede e representação da rede viária no MATSim.....	27
Figura 5	Exemplo de definição de um sistema de sinal no formato MATSim.....	28
Figura 6	Definição de grupos de semáforos.....	29
Figura 7	Exemplo de definição de controle de semáforo no formato MATSim.....	30
Figura 8	Exemplo de definição de controle de semáforo no formato MATSim (semáforo com defasagem).....	32
Figura 9	Exemplo de semáforos com defasagem.....	32
Figura 10	Exemplo de semáforo para conversão à direita.....	33
Figura 11	Exemplo sistema de sinal com divisão de faixas.....	34
Figura 12	Exemplo de arquivo de definição de faixas.....	35
Figura 13	Exemplo de definição de faixas.....	35
Figura 14	Exemplo de ficha de programação de semáforos.....	37
Figura 15	Localização dos semáforos da cidade de Joinville no modelo MATSim.....	38
Figura 16	Evolução das notas avaliadas pelo MATSim ao longo das iterações.....	41
Figura 17	Visualização do resultado da simulação do modelo de Joinville.....	42
Figura 18	Resultado comparativo de contagens da Rua Dr. João Colin modelo anterior.....	43
Figura 19	Resultado comparativo de contagens da Rua Dr. João Colin.....	43
Figura 20	Resultado comparativo de contagens da Rua Tijucas modelo anterior.....	44
Figura 21	Resultado comparativo de contagens da Rua Tijucas.....	44
Figura 22	Resultado comparativo de contagens da Rua Getúlio Vargas.....	45



Figura 23 Resultado comparativo de contagens da Rua Boehmerwald. ....	46
Figura 24 Ruas selecionadas para cálculo do nível de serviço. ....	47
Figura 25 Código para determinar os agentes que passam nos arcos de entrada e saída escolhidos. ....	48
Figura 26 Nível de Serviço X Hora do dia - Avenida Juscelino Kubitschek Sul. ....	49
Figura 27 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Nove de Março. ....	50
Figura 28 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Dr. João Colin. ....	59
Figura 29 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Blumenau. ....	59
Figura 30 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Lages. ....	59
Figura 31 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Tijucas. ....	60
Figura 32 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Max Colin. ....	60
Figura 33 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Timbo. ....	60
Figura 34 Nível de Serviço X Hora do dia - Avenida Juscelino Kubitschek Norte. ...	61
Figura 35 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Inacio Bastos. ....	61
Figura 36 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Padre Kolb. ....	61
Figura 37 Nível de Serviço X Hora do dia - Avenida Getúlio Vargas. ....	62
Figura 38 Nível de Serviço X Hora do dia - Rua São Paulo. ....	62

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Nível de serviço X velocidade média de viagem em trechos de vias com fluxo interrompido.....	22
Tabela 2	Definição dos Identificadores do arquivo de Sistemas de Sinais.....	28
Tabela 3	Definição dos Identificadores do arquivo de Grupos de Sinais. ....	29
Tabela 4	Definição dos Identificadores do arquivo de Controle de Sinais.....	31
Tabela 5	Descrição dos Identificadores do arquivo de definição de faixas.....	36
Tabela 6	Descrição dos arcos que compõem cada rua. ....	47
Tabela 7	Média do nível de serviço por rua. ....	63

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	14
2.1 PLANEJAMENTO EM TRANSPORTES	14
2.2 SIMULADORES DE TRÁFEGO	15
2.2.1 SUMO	16
2.2.2 AIMSUN	17
2.2.3 MATSim	17
2.3 SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	18
2.4 MEDIDAS DE DESEMPENHO	20
<b>3 EXTENSÃO DO MODELO DE JOINVILLE COM INFORMAÇÃO DE REDE SEMAFÓRICA</b>	24
3.1 O MODELO DE JOINVILLE	24
3.1.1 Contagens de Tráfego	24
3.1.2 A Rede de Semáforos de Joinville	26
3.2 REDE DE SEMÁFOROS NO MATSIM	27
3.2.1 Sistemas de Sinais	27
3.2.2 Grupos de Sinais	28
3.2.3 Controle de Sinais	29
3.2.4 Conversões à Direita ou Esquerda	33
3.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA	36
3.3.1 Limitações do Modelo	38
<b>4 ANÁLISES E RESULTADOS</b>	40
4.1 CONFIGURAÇÃO DA SIMULAÇÃO	40
4.2 RESULTADOS	41
4.2.1 Avaliação dos resultados de contagens	42
4.3 NÍVEL DE SERVIÇO	46
4.3.1 Resultados	49
4.3.2 Discussões Finais	50
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	52

5.1 RECOMENDAÇÕES A ESTUDOS FUTUROS .....	53
REFERÊNCIAS .....	54
APÊNDICE A – RESULTADOS NÍVEIS DE SERVIÇO.....	59
APÊNDICE B – SÍNTESE DA DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE SINAIS	65
APÊNDICE C – SÍNTESE DA DESCRIÇÃO DOS GRUPOS DE SINAIS	67
APÊNDICE D – SÍNTESE DA DESCRIÇÃO DOS CONTROLES DE SINAIS .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte urbano é um tema comum no cotidiano dos brasileiros e ganha atenção conforme a demanda por transportes aumenta. Como consequência desse aumento, pode-se citar o problema de congestionamentos e baixa qualidade do transporte público, ambos enfrentados no atual cenário de transportes. Tais problemas têm dimensão social, afetando a saúde e a qualidade de vida da população (MEIRELLES, 1999).

A necessidade de solução desses desafios confere um papel fundamental ao planejamento de transportes, que precisa evoluir a medida que os problemas se tornam mais complexos (BICUDO, 2015). Tendo em vista a necessidade de planejamento, surgem ferramentas que auxiliam a tomada de decisão como, a modelagem de transportes. A modelagem, ou simulação, é capaz de proporcionar análises de diferentes cenários, imaginados ou projetados.

Prado (2004) define simulação como a representação virtual por meio de uma linguagem computacional de um sistema que se pretende estudar. Uma das grandes vantagens da aplicação da simulação é que pode-se analisar a resposta do modelo de acordo com alterações propostas sem que sejam implantadas, permitindo ao pesquisador testar diferentes hipóteses com baixo custo e sem riscos reais de erros.

A busca de alternativas que provoquem melhorias no transporte e na rede viária das cidades, demonstra o crescente uso de modelos computacionais (FARINHA, 2013). A partir de um modelo construído, a simulação de cenários é capaz de produzir resultados importantes para análises e previsões de tráfego (BALMER, 2007).

Para compor modelos computacionais completos, há várias características que devem ser consideradas, por exemplo: para a simulação de transporte, além de necessitar de uma rede viária, informações como sentidos, capacidade de vias e velocidade máxima permitida, são de extrema importância para um modelo que busca reproduzir a realidade. Outra característica importante e que pode influenciar nos resultados obtidos através das simulações, são as informações de rede de semáforos.

Os semáforos são dispositivos reguladores do tráfego urbano. Eles são úteis para o controle e segurança tanto de veículos como de pedestres (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER, 1971). A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária, com a finalidade de transmitir diferentes mensagens aos usuários das vias, assegurando o direito de passagem ou advertindo sobre situações especiais nas vias (DENATRAN, 2014).

O controle do tráfego de veículos nas grandes cidades, especialmente nos horários

de maior movimento, é um dos mais sérios problemas urbanos enfrentados na atualidade. Para avaliar a configuração das redes semaforicas existem algumas medidas de desempenho, o manual do HCM (TRB, 2000) define o desempenho da rede em função do nível de serviço das vias.

Considerando o exposto acima, este trabalho propõe identificar, através de um modelo computacional, os níveis de serviço de vias com semáforos. Essa análise pode auxiliar os órgãos responsáveis no planejamento de transporte em suas tomadas de decisões. Com este objetivo, o simulador de tráfego utilizado foi o MATSim (MATSim, 2016), com um sistema baseado em multi-agentes e projetado para cenários de grande escala (HORN; NAGEL; AXHAUSEN, 2013).

## 1.1 OBJETIVOS

Abaixo são descritos os objetivos geral e específicos do trabalho.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Propiciar a análise do nível de serviço de vias com semáforos, através de uma ferramenta que auxilie a tomada de decisão no planejamento de transportes.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Estender o modelo criado para a cidade Joinville/SC com os dados de rede semaforica;
- Adaptar os dados de entrada de acordo com o simulador;
- Realizar experimentos a partir do modelo criado;
- Calcular o nível de serviço de vias que possuem semáforos com defasagem.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no segundo capítulo está descrito todo o embasamento teórico, a extensão do modelo de Joinville com informação de rede semaforica é apresentada no terceiro capítulo, os resultados e análises do modelo são avaliados no quarto capítulo e por fim, as considerações finais no último capítulo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um dos grandes desafios das cidades neste século está em promover acessibilidade e mobilidade aos seus habitantes, principalmente onde o crescimento ocorreu de forma intensa (MÁXIMO; SILVEIRA; HAGEMANN, 2015). Na busca de soluções para esses desafios, uma ferramenta importante é o planejamento em transportes.

Neste capítulo, discute-se sobre o planejamento em transportes, e como este instrumento pode auxiliar para uma boa configuração do cenário presente e futuro. Apresenta-se também os conceitos de simuladores de tráfego, de rede semafórica e de medidas de desempenho para esta rede.

### 2.1 PLANEJAMENTO EM TRANSPORTES

O crescimento da população urbana, tem como consequência o aumento da área ocupada, em sua grande maioria de forma dispersa, gerando problemas e desafios relacionados à mobilidade da população (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE - IPPUJ, 2015a). Para lidar com essas situações e buscar soluções, o planejamento em transportes é o principal recurso utilizado nas cidades.

Um processo inicial para o planejamento é a análise de demanda. Essa previsão de demanda já é praticada desde as décadas de 50 e 60 (MARTIN, McGUICKIN, 1998). O processo de relacionar a oferta e a demanda teve início nos Estados Unidos e desde então, vem passando por constantes aperfeiçoamentos (AZEVEDO FILHO, 2012).

Os métodos de geração de demanda se destinam à criação de um modelo que explique o funcionamento atual de um determinado sistema de transportes, levando em conta informações como ocupação e uso do solo das áreas estudadas. O modelo é calibrado para que represente a realidade e posteriormente são feitas projeções, possibilitando a estimativa dos perfis da demanda de viagens futuras (AZEVEDO FILHO, 2012).

Um exemplo de modelo bastante empregado para essa análise de demanda é o modelo de quatro etapas. Este modelo busca equilibrar a oferta, composta por rede viária e modos, com a demanda de transportes, ou seja, a necessidades de transportes (BICUDO, 2015). O processo ocorre através de quatro submodelos, iniciando com a geração de viagens, a distribuição destas viagens, a escolha do modal e finalizando com a alocação de rotas (BALMER, 2007).

Esse modelo possui algumas restrições, como por exemplo, o tratamento limitado

das escolhas dos viajantes durante a geração de viagens. Essas limitantes influenciam por se tratar de escolhas feitas por pessoas, que podem ter comportamentos diferentes umas das outras (AZEVEDO FILHO, 2012).

Na tentativa de diminuir as dificuldades deste processo, surgiram novas alternativas, como, por exemplo, a simulação baseada em agentes (BICUDO, 2015). Segundo Raney (2005), essa abordagem pode ser utilizada para simular o comportamento individual dos usuários de um sistema de transportes. A simulação baseada em agentes, leva em consideração as escolhas dos usuários e, admite que eles possuem inteligência para tomar decisões referentes aos seus deslocamentos.

A partir das informações obtidas com as simulações, os planejadores de transportes podem projetar e testar mudanças que melhorem o desempenho das redes viárias, desde pequenas até grandes cidades, de acordo com as suas necessidades.

## 2.2 SIMULADORES DE TRÁFEGO

Nos dias de hoje, as condições de mobilidade nas cidades não são satisfatórias. Com o crescente desenvolvimento das cidades e o fácil acesso à compra de veículos, um dos maiores problemas enfrentados é a crescente ocorrência de congestionamentos (WITTE, 2015). Em alguns casos, a má configuração e disposição de semáforos pode contribuir para esse problema.

Com o objetivo de mitigar os problemas em transportes, um bom planejamento se faz necessário. Ferramentas capazes de testar diferentes situações e que podem auxiliar o processo de planejamento, são os simuladores de tráfego. A partir dos resultados obtidos, depois de testar diferentes cenários com os simuladores, pode-se prever possíveis impactos.

Existem diversas opções de programas com essa finalidade, que podem se diferir através da maneira como realizam a análise de tráfego. Por exemplo, enquanto alguns consideram o fluxo de veículos de forma agrupada, outros analisam separadamente cada tipo de veículo (WITTE, 2015). A escolha do programa deve levar em consideração a finalidade e o objetivo do estudo que se deseja realizar.

Os simuladores podem diferir quanto ao tipo de simulação, definidas a seguir segundo Nazareth, Sousa e Ribeiro (2015).

- Simulação microscópica: A abordagem da simulação microscópica afere o tráfego veículo a veículo e as suas interações. Neste tipo de abordagem, os veículos são medidos como partículas sem massa e os modelos que mais destacam-se são o *car-following* e *lane changing*. No modelo *car-following* cada condutor controla o seu automóvel em função do estímulo que recebe do veículo que o antecede. O mo-



delo expõe a analogia entre a alteração da velocidade de um veículo, denominado seguidor (*following-car*), em resposta ao estímulo que aufer de um veículo que o precede, designado por líder (*leading-car*). No modelo *Lane changing* os algoritmos controlam como os veículos irão conseguir realizar as mudanças de faixa dentro do fluxo de tráfego. As mudanças de faixa são manobras complexas que envolvem o comportamento do motorista, o veículo e as condições de tráfego.

- Simulação macroscópica: Os modelos matemáticos referentes a esta escala são baseados na teoria hidrodinâmica dos fluidos e admitem um fluxo contínuo de veículos. As equações de conservação e modelos fenomenológicos são empregadas para descrever a evolução das variáveis, densidade, momento linear e energia, por sistemas de equações diferenciais parciais. Os modelos são limitados geralmente às primeiras duas quantidades, a equação de evolução da densidade de veículos e velocidade como variáveis notáveis do fluxo de veículos.
- Simulação mesoscópica: No modelo mesoscópico o estado do sistema é identificado pela posição e pela velocidade dos veículos. Contudo esta assimilação não se refere a cada veículo, mas a uma distribuição apropriada de probabilidade sobre o sistema viário. Assim, a análise mesoscópica busca um tratamento individualizado, mas afronta os veículos como elementos constituintes das correntes de tráfego e não como veículos individuais, mas os pelotões que eles formam e se deslocam no sistema viário.

A seguir são detalhados alguns exemplos dos simuladores e qual modelo de simulação eles seguem, por fim, é apresentado o MATSim, programa utilizado neste trabalho.

### 2.2.1 SUMO

O *Simulation of Urban Mobility* (SUMO), foi projetado para suprir as necessidades das pesquisas do Instituto de Sistemas de Transportes, possui três princípios básicos: pouco consumo de memória, facilidade em estender a aplicação e velocidade nas simulações (HALLMANN, 2011).

O programa, através da simulação de tráfego, busca facilitar a avaliação de mudanças de infraestrutura antes de implementá-las na rede viária. O SUMO permite a modelagem de sistemas intermodais, incluindo veículos rodoviários, transportes públicos e pedestres (HILLBRICH, 2013). Segundo os desenvolvedores do Instituto de Sistemas de Transportes de Berlim, o SUMO já foi utilizado para diversas pesquisas como avaliar o desempenho de semáforos e fornecer previsões de tráfego (SUMO, 2015).

A utilização do SUMO ocorre através de linhas de comando. O programa opera as entradas e saídas através de arquivos XML. Nestes arquivos estão descritas informações como a rede viária, localização e tempo de semáforos, fluxo de veículo na rede e configurações de velocidade máxima permitida, dentre outras características que podem ser descritas.

O programa realiza simulações do tipo microscópica, ou seja, os veículos são tratados de forma individualizada, sendo os modelos tão detalhados quanto for o seu propósito (BEHRISCH et al., 2011). Os modelos assumem que o motorista não é perfeito em atingir a velocidade desejada (WITTE, 2015).

### 2.2.2 AIMSUN

O *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks* (AIMSUN), é um simulador microscópico comercializado pela *Transport Simulations Systems* (TSS). É amplamente utilizado em testes de implantação de novos sistemas de controle de tráfego e foi desenvolvido como ferramenta de apoio aos engenheiros (OLIVEIRA, 2014).

O AIMSUN foi formulado sobre alguns princípios básicos como: integração, modularidade, extensibilidade e desempenho. Na integração, quanto mais o programa é desenvolvido, novos modelos de conhecimento são aprimorados. A modularidade consiste em reutilizar os processos e as tarefas. E a extensibilidade, permite aos usuários programar extensões de forma relativamente fácil (HALLMANN, 2011).

A velocidade de processamento deste programa aumenta a cada ano e novas técnicas de desenvolvimento também surgem (BARCELÓ, 2010 apud HALLMANN, 2011). O AIMSUN permite realizar simulações do tipo microscópica e também mesoscópica. A simulação mesoscópica ocorre quando os veículos são avaliados em grupos, desta forma, os veículos não são tratados como elementos com particularidades individuais (PORTUGAL, 2005).

### 2.2.3 MATSim

O *Multi Agent Transport Simulation* (MATSim) é um programa de simulação microscópica que fornece uma estrutura para simulações de transporte com base em agentes, cada agente representa um indivíduo, o qual possui inteligência para a escolha das melhores decisões a serem tomadas em relação à seus deslocamentos, de modo a obter os objetivos propostos no cenário construído (FARINHA, 2013).

O simulador é capaz de simular o tráfego de automóveis particulares e também de transporte público. Além disso, consegue suportar modos adicionais, como ciclistas por exemplo. A simulação pode representar um dia inteiro em apenas alguns minutos, e é possível acompanhar e rastrear um dos agentes através de seu dia, avaliando os deslocamentos (MATSim, 2016).

O funcionamento do programa ocorre da seguinte maneira: começa com uma demanda inicial que descreve um conjunto de planos do dia para a população simulada, como por exemplo, as atividades de um indivíduo durante o dia, ir à escola, ao trabalho, fazer compras, por exemplo (RIESER, 2010). Esses planos são executados pelo simulador de tráfego e avaliados, recebendo pontuações a cada iteração. Os agentes tentam otimizar seus planos a partir do tempo de viagem. Esse ciclo ocorre até que algum critério definido pelo operador seja atingido. Por fim, é possível realizar análises dos dados de tráfego ou comportamento dos agentes (RIESER, 2010).

Por causa da disponibilidade do programa, de sua capacidade de execução de grande escala, pela disponibilidade do modelo de Joinville e pela possibilidade de extensões, o MATSim é o programa escolhido para desenvolvimento deste trabalho. Serão incluídas as informações da rede semaforica da cidade e a partir dessas, algumas análises serão executadas para avaliar o desempenho, através do nível de serviço, de determinadas vias.

## 2.3 SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

A sinalização semaforica é um subsistema da sinalização viária que se compõe de indicações luminosas acionadas alternada ou intermitentemente por um sistema eletrônico. Tem como objetivo, informar os usuários permitindo o direito de passagem tanto de veículos como de pedestres (DENATRAN, 2014).

O manual do DENATRAN (2014) sugere alguns princípios da sinalização semaforica, como por exemplo, em sua concepção e implantação, um dos princípios básicos é a análise das condições de percepção dos usuários da via, garantido a real eficácia dos sinais. Para isso, características como padronização, clareza, precisão e confiabilidade são indispensáveis.

A instalação de semáforos pode melhorar a circulação dos veículos, isso depende principalmente de como são dimensionados e aplicados. Semáforos instalados com indicação técnica e projeto adequados trazem algumas vantagens como: aumento da capacidade das vias, redução no tamanho das filas e redução da frequência de acidentes (BEZERRA, 2007). Quando a aplicação não ocorre de forma adequada, os semáforos podem piorar o

tráfego, gerando congestionamentos e aumentando o tempo de viagem dos usuários.

Os semáforos são acionados por equipamentos programáveis, os controladores semaforicos, que comandam as trocas das indicações luminosas dos grupos focais (DENATRAN, 2014). As indicações luminosas seguem um padrão de planos que definem quanto tempo cada fase é ativada, e podem variar ao longo do dia, principalmente em locais de grande fluxo. Algumas definições sobre estes dispositivos que devem ser consideradas são apresentadas pelo Manual Brasileiro de Semáforos formulado pelo DENATRAN (2014):

- Grupo semaforico: conjunto de semáforos com indicação luminosa (tempos de verde, amarelo e vermelho) idêntica;
- Entreverdes: intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente, composto de um tempo de amarelo, acrescido de um tempo de vermelho geral sempre que necessário;
- Estágio: compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue;
- Ciclo: sequência completa dos estágios de uma sinalização semaforica;
- Tempo de ciclo: definida pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local. (Em uma interseção de vias);

A rede de semáforos pode ser dividida quanto as estratégias de controle (DENATRAN, 2014):

- Controle isolado: No controle semaforico isolado, cada interseção é controlada independentemente das demais, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação semaforica.
- Controle em rede: Que pode ser subdividido em dois modos, o controle em rede aberta e o controle em rede fechada. O controle em rede aberta visa privilegiar a circulação do tráfego em uma via (ou em um percurso pré-estabelecido) e, por isso, é comumente referido como controle em corredor. O controle em rede fechada, que visa melhorar o desempenho geral do tráfego em uma determinada região, é denominado controle em área. A programação da sinalização semaforica operando em rede implica na definição de um parâmetro adicional, denominada defasagem. A defasagem estabelece o momento em que deve iniciar o tempo de verde de um cruzamento, levando em conta os tempos do cruzamento anterior, tentando alcançar ao que se chama de “onda verde” na via, permitindo que os usuários passem pelos cruzamentos sem precisar parar.

## 2.4 MEDIDAS DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho são medidas elaboradas com intuito de avaliar, modificar e criar condições favoráveis nas operações dos mais diversos setores. O uso de indicadores de desempenho no setor de transportes é essencial, pois possibilita planejamento, avaliação, medição e controle dos processos (FREITAS et al, 2012).

No que diz respeito aos semáforos, existem várias medidas de desempenho que podem ser empregadas, dentre as quais as mais utilizadas são “fila máxima” referente ao tamanho da fila, número de paradas e atraso. É importante avaliar constantemente o desempenho do tráfego na cidade em decorrência da disposição e programação semafórica (DENATRAN, 2014). Quando uma nova programação é implementada, esta necessidade é maior, principalmente para verificar os impactos causados por determinada mudança. Algumas medidas descritas pelo manual do DENATRAN são as seguintes:

- Fila máxima: A obtenção em campo do indicador “fila máxima” é feita pela observação, ao longo de vários ciclos, do número máximo de veículos na fila por ciclo. O valor do indicador é calculado como a média das filas máximas observadas;
- Número de paradas: A programação semafórica deve visar a minimização do número de paradas que, além de gerar desconforto ao usuário, aumenta o consumo de combustível e a emissão de poluentes;
- Atraso: representa a diferença entre o tempo gasto por um veículo para percorrer um determinado trecho sob o controle semafórico e o tempo que gastaria se percorresse o mesmo trecho em regime de fluxo ininterrupto, na velocidade desejada, respeitando o limite de velocidade da via.

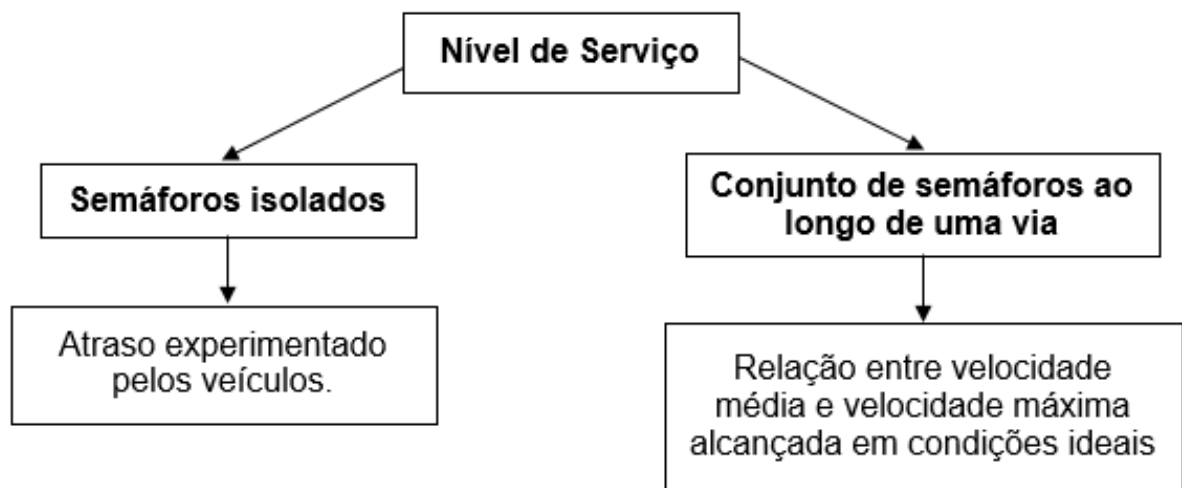
Além destes indicadores listados no manual, há também os determinados pelo *Transportation Research Board* e descritas no *Highway Capacity Manual 2000 – HCM*. Segundo Bezerra (2007), são os métodos de análises mais utilizados no mundo e também as mais utilizadas no Brasil.

Essas medidas definem o nível de serviço, o qual descreve as condições operacionais de uma corrente de tráfego. O nível de serviço é calculado de formas diferentes para semáforos isolados e para semáforos em rede. No caso dos semáforos isolados, o nível de serviço é definido em função do atraso experimentado pelos motoristas (diferença entre o tempo parado, contando o tempo de desaceleração e aceleração com o tempo considerado de passagem livre). No caso de um conjunto de semáforos ao longo de uma via, o nível de serviço é medido com base na velocidade média de operação em relação a velocidade

máxima alcançada em condições ideais da via, como tráfego de baixo volume e semáforos sincronizados adequadamente (HCM, 2000 apud BEZERRA, 2007).

A velocidade máxima alcançada em condições ideais da via, pode ser definida como velocidade de fluxo livre. Em grande parte dos casos, a velocidade máxima pode ser admitida igual ao limite legal da via.

Figura 1 – Nível de serviço para semáforos isolados e em rede.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para este trabalho serão avaliados os níveis de serviço de algumas vias de semáforos em rede, as quais contam com defasagem. A tabela abaixo, definida pelo HCM 2010, mostra os critérios para identificar o nível de serviço destas vias:

Tabela 1 – Nível de serviço X velocidade média de viagem em trechos de vias com fluxo interrompido.

Classe da via	I	II	III	IV
Intervalo de velocidades livres	70 – 90 km/h	55 – 70 km/h	50 – 55 km/h	40 – 55 km/h
Velocidade livre típica	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
Nível de serviço	Velocidade média de viagem (km/h)			
A	> 72	>59	>50	>41
B	>56 – 72	>46-59	>39-50	>32-41
C	>40-56	>33-46	>28-39	>23-32
D	>32-40	>26-33	>22-28	>18-23
E	>26-32	>21-26	>17-22	>14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

TRB (2000).

Como mostra a Tabela 1, os níveis de serviço são divididos entre A até F, segundo as definições do HCM – 2000, que definem cada nível quanto ao fluxo de veículos, o qual, é a quantidade de veículos que passam por um dado ponto da via durante um intervalo de tempo.

- **NÍVEL A** – considerado o nível ótimo. Corresponde ao fluxo livre, com concentração bastante reduzida de veículos, total liberdade na escolha da velocidade (respeitando os valores máximos permitidos) e muita facilidade para ultrapassagens;
- **NÍVEL B** – considerado bom com fluxo estável de veículos. Concentração reduzida. Possui um bom nível para escolha de velocidade e facilidade de ultrapassagem;
- **NÍVEL C** – regular com concentração média de veículos na via. A escolha de velocidade e facilidade de ultrapassagem começa a ser prejudicada em virtude da presença dos outros veículos;
- **NÍVEL D** - considerado ruim, próximo do fluxo instável, quando há concentração alta de veículos, já se torna grande a dificuldade de ultrapassagens e de escolha de velocidade;
- **NÍVEL E** – fluxo instável, considerado péssimo, concentração extremamente alta de veículos. Sem liberdade de escolha de velocidade.

- **NÍVEL F** – fluxo forçado, considerado inaceitável com concentração altíssima de veículos. Velocidade bastante reduzidas e frequentes paradas de longa duração.



### **3 EXTENSÃO DO MODELO DE JOINVILLE COM INFORMAÇÃO DE REDE SEMAFÓRICA**

Este capítulo descreve os passos realizados no desenvolvimento da extensão do modelo de Joinville. Descreve o modelo existente, a rede de semáforos da cidade, os dados de entrada necessários, as adaptações realizadas para compatibilizar com o programa, e os cálculos para chegar aos resultados de níveis de serviço.

#### **3.1 O MODELO DE JOINVILLE**

A cidade escolhida para o estudo foi Joinville, que está localizada na região sul do país, e ao norte do estado de Santa Catarina. Joinville é a maior cidade catarinense em termos populacionais, responsável por cerca de 20% das exportações do estado. Em 1996 a população da cidade era equivalente à 396 mil habitantes, no ano de 2015 esse número já ultrapassava 562 mil habitantes (IPPUJ, 2015b). Devido esse crescimento acelerado a cidade passou a enfrentar alguns problemas, principalmente em relação ao transporte, como por exemplo os congestionamentos em vias que conectam os principais bairros.

O DETRANS é o órgão responsável por cumprir e fazer cumprir a legislação e as normas do trânsito na cidade, planejando, organizando, fiscalizando e gerenciando o trânsito. Este órgão é um exemplo de departamento que poderia beneficiar-se com o auxílio de um programa, capaz de testar mudanças desejadas na rede de transportes.

O modelo da cidade de Joinville no MATSim possui as informações de rede viária, de população e os planos de viagens desta população, bem como as localizações de determinados estabelecimentos (casa, trabalho, escola, faculdade e compras) e dados de contagens de veículos (BICUDO, 2015). Esse modelo possui algumas limitações, dentro as quais destaca-se: não considera o transporte público da cidade, não possui informações de semáforos e também algumas características das vias como lombadas, por exemplo.

A partir deste modelo, foi construída a extensão com acréscimo das informações de semáforos da cidade, como localização e tempos semaforicos, buscando extinguir uma das limitações existentes. Além disso, os dados da rede viária utilizados na extensão, sofreram ajustes pontuais em relação aos sentidos das vias.

##### **3.1.1 Contagens de Tráfego**

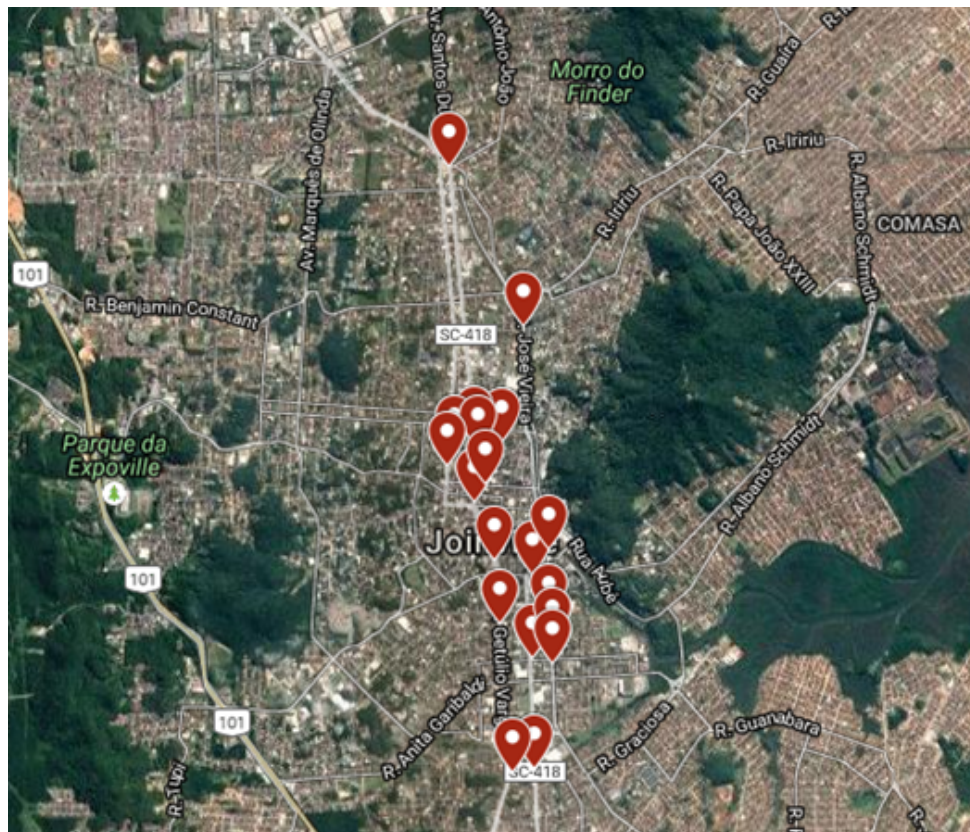
O modelo da cidade de Joinville possui as informações das contagens do ano em que foi desenvolvido, 2015. No ano de 2016 a cidade ganhou novos pontos de controlado-

res de tráfego (DETRANS), os quais realizam contagens diárias. Essas informações são controladas por um programa e é possível acessar relatórios, podendo analisar a contagem do tráfego por intervalos de velocidade ou então por tipos de veículos.

Os dados coletados correspondem às contagens durante um dia inteiro, dividido para cada hora do dia, somente para os dias úteis, os quais serão simulados no experimento. As informações são referentes ao mês de agosto e cada valor corresponde a uma média encontrada para o mês.

A Figura 2 ilustra os pontos de contagem do modelo de 2015. A partir da Figura é possível identificar que os locais estão concentrados na região central da cidade, com apenas quatro pontos mais dispersos do restante.

Figura 2 – Localização dos pontos de contagem de tráfego do modelo de 2015.



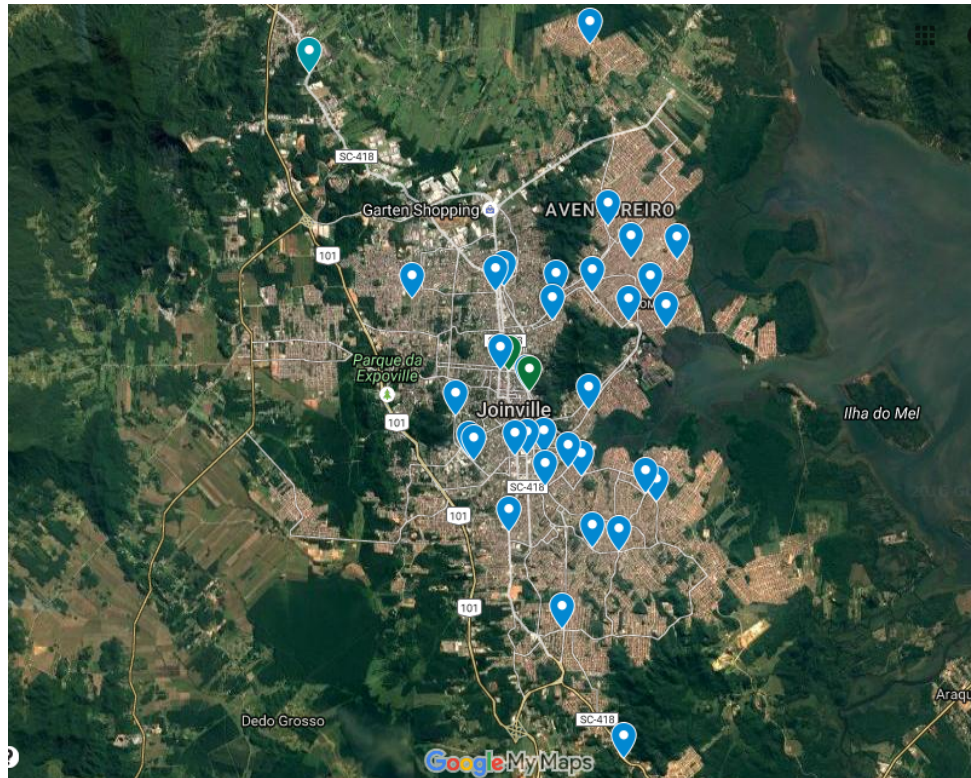
Fonte: Imagem Google. Dados do DETRANS (2016).

A Figura 3 ilustra os locais de contagens adicionados ao modelo. Nesta imagem é possível identificar pontos mais dispersos, e não concentrados em apenas uma região da cidade. Os pontos em verde na Figura 3 representam locais de contagem em comum nos modelos, os demais pontos representam os novos controladores de tráfego adicionados a rede da cidade de Joinville.

As informações de contagens atualizadas auxiliam para verificar e validar o mo-

delo, através de comparações entre as contagens reais e as realizadas pelos agentes no programa, de acordo com os planos e escolhas de cada um destes agentes.

Figura 3 – Localização dos pontos de contagem de tráfego adicionados ao modelo.



Fonte: Imagem Google. Dados do DETRANS (2016).

### 3.1.2 A Rede de Semáforos de Joinville

A cidade possui atualmente cerca de 117 cruzamentos com semáforos, os quais possuem divisão por controle, composto por semáforos de controle isolado e semáforos de controle em rede. Uma média de 56% da rede de semáforos da cidade é regido pelo controle por rede, ou seja, essa porcentagem representa a quantidade de semáforos que funcionam a partir de defasagem. Os semáforos em rede estão localizados na região central da cidade. Nos bairros mais distantes do centro, há presença de semáforos regidos pelo controle isolado.

A programação semafórica para semáforos de controle isolado, é implementada diretamente no controlador, componente que fica junto ao dispositivo de semáforo. Já os semáforos em rede, respeitam uma programação semafórica pré estabelecida e são controlados por um computador central, responsável por gerenciar a operação conjunta dos equipamentos (DENATRAN, 2014). Em Joinville essas redes são controladas e monitoradas por uma central situada no DETRANS.

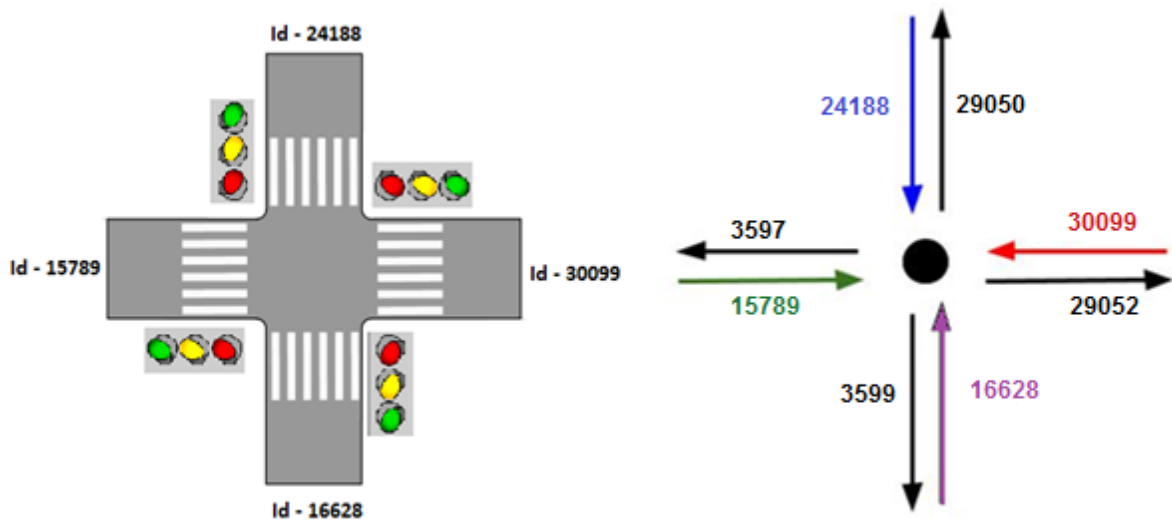
### 3.2 REDE DE SEMÁFOROS NO MATSIM

Esta seção descreve o funcionamento de semáforos na configuração do MATSim e os dados necessários para construção da rede. As informações definem os locais em que estão inseridos os dispositivos, os grupos semafóricos correspondentes para cada dispositivo, os tempos semafóricos e horários de funcionamento.

#### 3.2.1 Sistemas de Sinais

A informação de localização dos semáforos está associada aos arcos que compõem a rede viária. Os arcos representam as vias e tem um identificador único que é associado ao dispositivo. A Figura 4 representa um cruzamento com semáforos e estão em destaque apenas os arcos em que são adicionados os dispositivos semafóricos. Os identificadores (Id) em cada uma das vias representa o nome do arco correspondente na rede viária de Joinville. Esse cruzamento está descrito na Figura 5.

Figura 4 – Desenho da rede e representação da rede viária no MATSim.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 5 – Exemplo de definição de um sistema de sinal no formato MATSim.

```

1    <signalSystem id="PauloSchoerederComBoehmerwald">
2      <signals>
3        <signal linkIdRef="16628" id="PauloSchoerederBr"/>
4        <signal linkIdRef="24188" id="PauloSchoerederBai"/>
5        <signal linkIdRef="30099" id="BoehmerwaldtCent"/>
6        <signal linkIdRef="15789" id="BoehmerwaldtBai"/>
7      </signals>
8    </signalSystem>

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A primeira linha da Figura 5 inicia a descrição do sistema semafórico, atribuindo uma identificação ao cruzamento. A posição de cada um dos dispositivos é descrita entre as linhas 3 e 6, onde são identificados os arcos em que serão inseridos os semáforos, também é atribuída uma identificação para cada dispositivo. A Tabela 2 informa o significado de cada identificador da Figura 5.

Tabela 2 – Definição dos Identificadores do arquivo de Sistemas de Sinais.

Identificador	Definição
<i>signalSystem id</i>	Identifica o cruzamento a ser descrito.
<i>signals</i>	Inicia a descrição de cada semáforo que compõem o cruzamento.
<i>Signal linkIdRef</i>	Identifica em qual arco da rede o dispositivo será inserido e atribui um identificador a esse semáforo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

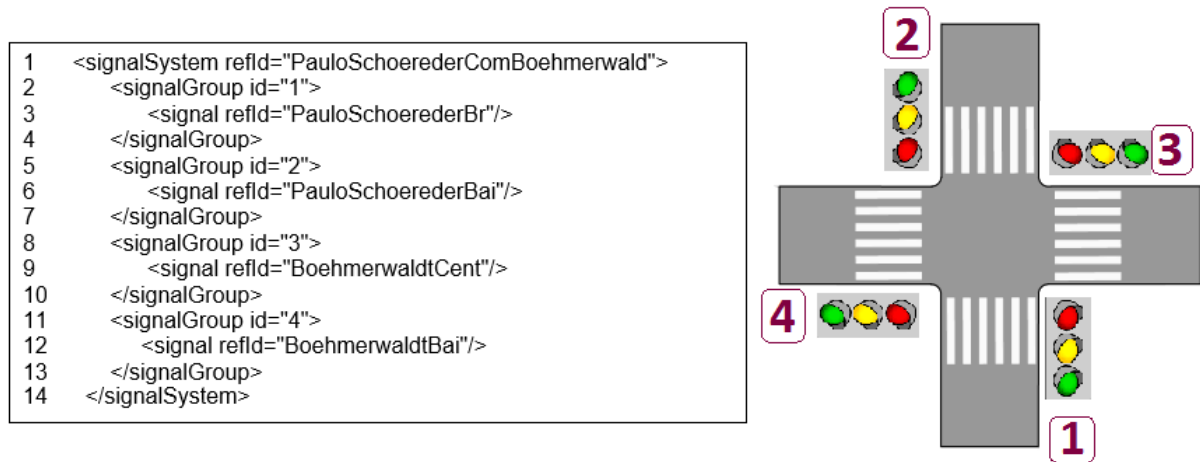
Todos os semáforos da cidade, tanto os isolados, como os centralizados, são descritos seguindo a mesma abordagem. Essa é a primeira etapa para construção da rede semafórica.

### 3.2.2 Grupos de Sinais

Os grupos semafóricos representam a maneira como os dispositivos devem funcionar, ou os tempos que eles devem respeitar. Nesta etapa, os dispositivos são atribuídos a grupos. Seguindo o exemplo da Figura 4, na Figura 6 os dispositivos foram agrupados em quatro grupos de sinais, um grupo para cada via do cruzamento.



Figura 6 – Definição de grupos de semáforos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A Figura 6 também descreve um exemplo de dados de entrada para essa configuração. Os dispositivos são agrupados de acordo com a identificação a que são atribuídos no sistema de sinais, descritos na Figura 5. Nesse caso, cada um dos quatro semáforos pertence a um grupo de sinal, pois cada um deve obedecer a uma regra de tempo. A Tabela 3 descreve os significados de cada identificador da Figura 6.

Tabela 3 – Definição dos Identificadores do arquivo de Grupos de Sinais.

Identificador	Definição
<i>signalSystem</i>	Inicia a descrição relacionando ao cruzamento identificado no arquivo de sistema de sinais;
<i>refId</i>	Define o cruzamento de acordo com seu identificador;
<i>signalGroup</i>	Define um grupo de sinal que será responsável pelos tempos semaforicos de um determinado dispositivo;
<i>id</i>	Atribui um identificador ao grupo de sinais;
<i>signal refId</i>	Identifica qual semáforo seguirá as definições do de determinado grupo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

### 3.2.3 Controle de Sinais

Nessa seção é apresentado o controle de sinais onde é descrito o funcionamento dos dispositivos. O controle de sinais contém informações como: horário em que inicia e termina determinada configuração de tempo semaforico, o tempo total de ciclo (contando

o tempo de todos os dispositivos do cruzamento), o tempo de início e fim da duração de verde de cada semáforo.

Os tempos de ciclo são contados em segundos. Por exemplo, um ciclo pode durar 90 segundos. Durante estes 90 segundos são definidos quanto tempo cada dispositivo deve ficar na fase verde, a fase amarela dura 4 segundos, e o restante corresponde ao tempo de vermelho. O exemplo utilizado na Figura 7, descreve os tempos de acordo com as definições do DETRANS.

Figura 7 – Exemplo de definição de controle de semáforo no formato MATSim.

```

1  <signalSystem refId="PauloSchoerederComBoehmerwald">
2    <signalSystemController>
3      <signalPlan id="1">
4        <start daytime="06:30:00"/>
5        <stop daytime="20:00:00"/>
6        <cycleTime sec="90"/>
7        <offset sec="0"/>
8        <signalGroupSettings refId="1">
10         <onset sec="0"/>
11         <dropping sec="20"/>
12       </signalGroupSettings>
13       <signalGroupSettings refId="2">
14         <onset sec="20"/>
15         <dropping sec="40"/>
16       </signalGroupSettings>
17       <signalGroupSettings refId="3">
18         <onset sec="40"/>
19         <dropping sec="65"/>
20       </signalGroupSettings>
21       <signalGroupSettings refId="4">
22         <onset sec="65"/>
23         <dropping sec="85"/>
24       </signalGroupSettings>
25     </signalPlan>
26   </signalSystemController>
27 </signalSystem>

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A linha 1 da Figura 7 define qual cruzamento será descrito. Na linha quatro é definido o plano semaforico, neste caso, o plano 1 deve durar entre as 6h30min e 20h00min, como mostram as linhas 4 e 5, o plano 2 começará às 20h00min.

O programa não aceita diferença nos tempos de término de um plano e início de outro. Definiu-se então tempos iguais, sem intervalos. Os identificadores da Figura 7 estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Definição dos Identificadores do arquivo de Controle de Sinais.

Identificador	Definição
<i>signalSystem refId</i>	Identifica qual cruzamento vai obedecer a descrição de controle semafórico;
<i>signalSystem Controller</i>	Inicia a descrição do controle semafórico para o cruzamento escolhido;
<i>controllerIdentifier</i>	Localiza os pacotes do programa do MATSim responsáveis por simular o controle de sinais;
<i>signalPlan id</i>	Descreve um grupo de sinais e atribui um identificador a esse grupo;
<i>start daytime</i>	Define a hora do dia em que o plano inicia seu funcionamento;
<i>stop daytime</i>	Define a hora em que o plano encerra;
<i>cycleTime sec</i>	Corresponde ao tempo total do ciclo em segundos;
<i>offset sec</i>	Determina em qual momento do ciclo se inicia o plano;
<i>signalGroupSettings refId</i>	Inicia a descrição de tempos de estágio para um dispositivo pertencente ao cruzamento através de seu identificador;
<i>onset sec</i>	Define o instante em que inicia o estágio;
<i>dropping sec</i>	Define o instante em que há a troca para o próximo estágio;

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Cada sistema semafórico possui planos diferentes que mudam ao longo do dia, variando de acordo com a semana (dia útil e final de semana), como é exemplificado na Figura 14 de Seção 3.3. Há cruzamentos em que os planos chegam a variar dez vezes ao dia.

Este exemplo é de um semáforo isolado sem defasagem. Para o caso de semáforos em rede, a única mudança é a hora de início ou hora de final do plano, como pode ser observado na Figura 8.



Figura 8 – Exemplo de definição de controle de semáforo no formato MATSim (semáforo com defasagem).

```

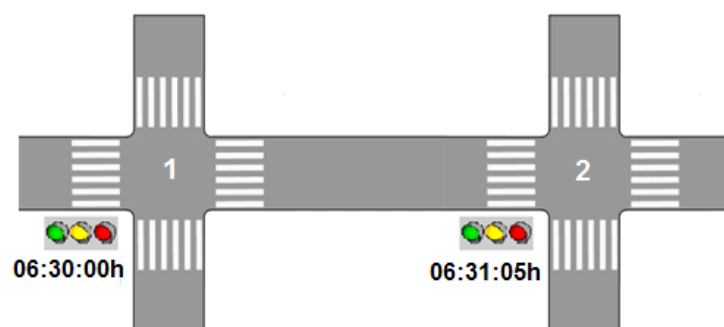
1  <signalSystem refId="FloripaComGuanabara">
2    <signalSystemController>
3      <controllerIdentifier>DefaultPlanbasedSignalSystemController</controllerIdentifier>
4      <signalPlan id="1">
5        <start daytime="06:31:05"/>
6        <stop daytime="10:30:00"/>
7        <cycleTime sec="42"/>
8        <offset sec="0"/>
9        <signalGroupSettings refId="1">
10         <onset sec="0"/>
11         <dropping sec="14"/>
12       </signalGroupSettings>
13       <signalGroupSettings refId="2">
14         <onset sec="14"/>
15         <dropping sec="28"/>
16       </signalGroupSettings>
17       <signalGroupSettings refId="3">
18         <onset sec="28"/>
19         <dropping sec="42"/>
20       </signalGroupSettings>
21       <signalGroupSettings refId="4">
22         <onset sec="28"/>
23         <dropping sec="42"/>
24       </signalGroupSettings>
25     </signalPlan>
26   </signalSystemController>
27 </signalSystem>

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Em uma via com uma série de dispositivos com defasagem, o tempo de início de ciclo semaforico muda entre um cruzamento e outro. Conforme ilustra a Figura 9, o cruzamento 1 da via inicia seu ciclo às 06h30, enquanto o cruzamento 2 só começa as 06h31min05, ou seja, há uma defasagem de 65 entre eles.

Figura 9 – Exemplo de semáforos com defasagem.

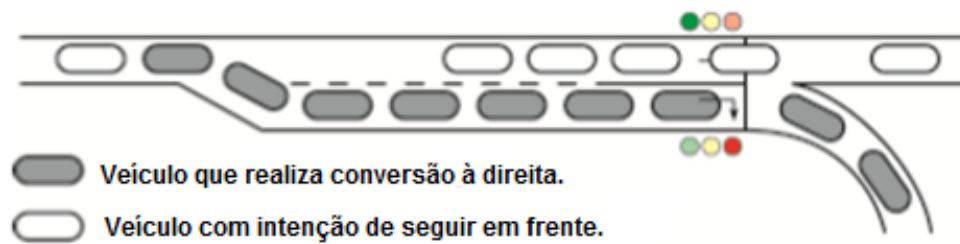


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

### 3.2.4 Conversões à Direita ou Esquerda

Além dessas descrições apresentadas, há também definições diferentes quando um semáforo controla de maneira separada as conversões à direita ou esquerda, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Exemplo de semáforo para conversão à direita.



Fonte: MATSim (2016, adaptado pelo autor).

A Figura 11 ilustra um exemplo desse tipo de controle semaforico, onde há um dispositivo que controla a faixa que permite o movimento de seguir em frente e outro para a faixa que permite o movimento de conversão à esquerda (ou à direita dependendo da ocasião). Assim, cada semáforo é responsável por uma faixa de um mesmo arco. O MATSim suporta até dois dispositivos para a descrição de um arco, quando há três ou mais movimentos controlados por diferentes semáforos, é necessário acrescentar arcos a rede.

A linha 4 da Figura 11 define um semáforo para a faixa da esquerda, simbolizada pela letra L. Essa letra é concatenada ao identificador do arco em que está inserido o dispositivo. A linha 7 define um semáforo para a faixa da direita, simbolizado pela letra R. No exemplo da Figura 11, há dois arcos com semáforos separados controlando cada faixa.

Figura 11 – Exemplo sistema de sinal com divisão de faixas.

```

1 <signalSystem id="PrudenteComMarquesDeOlinda">
2   <signals>
3     <signal linkIdRef="16" id="MarquesNorteEsquerda"/>
4       <lane reflId = "16.L"/>
5     </signal>
6     <signal linkIdRef="16" id="MarquesNorteEmFrente"/>
7       <lane reflId = "16.R"/>
8     </signal>
9     <signal linkIdRef="17" id="MarquesCentroEmFrente"/>
10      <lane reflId = "17.L"/>
11    </signal>
12    <signal linkIdRef="17" id="MarquesCentroEsquerda"/>
13      <lane reflId = "17.R"/>
14    </signal>
15    <signal linkIdRef="18" id="PrudenteBairro"/>
16    <signal linkIdRef="19" id="PrudenteCentro"/>
17  </signals>
18 </signalSystem>

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Além dessa adaptação para o sistema de sinal, há um novo dado de entrada que deve ser fornecido, chamado de definição de faixas, essa configuração indica para qual arco o usuário pode realizar a conversão. Identifica-se tanto o arco de conversão, quanto o arco que recebe esse movimento. Além dessas identificações, informa-se também a capacidade do arco e quantas faixas ele possui. A Figura 12 demonstra um exemplo desse novo dado de entrada, enquanto a Figura 13 ajuda a ilustrar essas informações. A Tabela 5 descreve os significados de cada identificador da Figura 12.

Figura 12 – Exemplo de arquivo de definição de faixas.

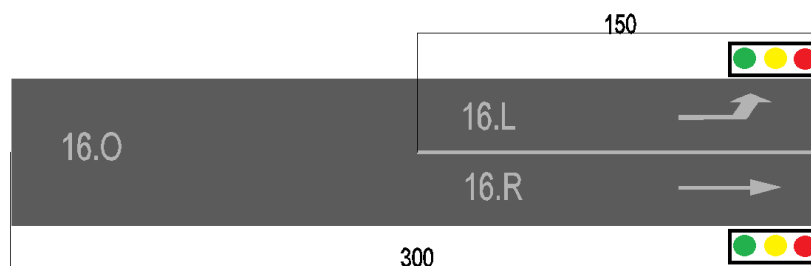
```

1  <lanesToLinkAssignment linkIdRef = "16">
2    <lane id="16.O">
3      <leadsTo>
4        <toLink refId="16.L"/>
5        <toLink refId="16.R"/>
6      </leadsTo>
7      <representedLanes number="1.0"/>
8      <capacity vehiclesPerHour="1800.0"/>
9      <startsAt meterFromLinkEd="300.0"/>
10     <alignment>1</ alignment>
11   </lane>
12   <lane id="16.L">
13     <leadsTo>
14       <toLink refId="25"/>
15     </leadsTo>
16     <representedLanes number="1.0"/>
17     <capacity vehiclesPerHour="1800.0"/>
18     <startsAt meterFromLinkEd="150.0"/>
19     <alignment>0</ alignment>
20   </lane>
21   <lane id="16.R">
22     <leadsTo>
23       <toLink refId="27"/>
24     </leadsTo>
25     <representedLanes number="1.0"/>
26     <capacity vehiclesPerHour="1800.0"/>
27     <startsAt meterFromLinkEd="150.0"/>
28     <alignment>-1</ alignment>
29   </lane>
30 </ lanesToLinkAssignment>

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 13 – Exemplo de definição de faixas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Tabela 5 – Descrição dos Identificadores do arquivo de definição de faixas.

Identificador	Definição
<i>lanesToLinkAssignment linkIdRef</i>	Identifica o arco que possui a configuração de um dispositivo para cada faixa;
<i>lane id</i>	Define um novo identificador para cada faixa, que será controlada por um dispositivo de semáforo;
<i>toLink refId</i>	Define para qual arco é permitido prosseguir a partir da faixa escolhida (direita ou esquerda);
<i>representedLanes number</i>	Número de faixas que seguem essa configuração;
<i>capacity vehiclesPerHour</i>	Capacidade de veículos da faixa (veículos/hora);
<i>startsAt meterFromLinkEd</i>	Define a distância dentro do arco em que a divisão de faixas se inicia;
<i>alignment</i>	Define o alinhamento da faixa, para que elas fiquem separadas e possam suportar os veículos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

### 3.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA

Para realizar a extensão, foram necessários todos os dados relacionados à rede de semáforos como: localização, tempos e controles semaforicos, além de identificar quais destes são isolados e quais funcionam através de defasagem. A localização de semáforos bem como suas configurações de tempo e defasagem foi disponibilizada pelo DETRANS, órgão responsável pelos dispositivos na cidade, como citado na Seção 3.1.

A Figura 14 representa um dos documentos com os dados de tempos semaforicos para um cruzamento da cidade, o exemplo é da Avenida Paulo Schroeder com a Rua Boehmerwald, cruzamento localizado no bairro Boehmerwald zona sul de Joinville. A primeira parte do quadro define as vias que possuem os dispositivos e quais estágios elas devem respeitar.

Nas seções seguintes da Figura 14 são definidos os planos semaforicos, ou seja, os tempos de cada um dos estágios do cruzamento. É possível identificar cinco planos diferentes. Por exemplo, no primeiro plano definido, o tempo total de ciclo é de 90 segundos. O estágio 01 terá um tempo de verde de 16 segundos e amarelo de 4 segundos, iniciando no tempo 0 do ciclo total, e durando 20 segundos (verde + amarelo). Quando completa 20 segundos o dispositivo muda para o próximo estágio e assim ocorre sucessivamente para os demais estágios.

Figura 14 – Exemplo de ficha de programação de semáforos.

FICHA DE PROGRAMAÇÃO DO CRUZAMENTO											
ESTAGIO 01	Av. Paulo Schroeder - Norte										
ESTAGIO 02	Av. Paulo Schroeder - Sul										
ESTAGIO 03	Rua Boehmerwald - Leste										
ESTAGIO 04	Rua Boehmerwald - Oeste										
PLANO Nº 1											
E1 = VERDE	16	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	20	INICIO	0			
E2 = VERDE	16	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	20	INICIO	20			
E3 = VERDE	21	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	25	INICIO	40			
E4 = VERDE	21	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	25	INICIO	65			
CICLO TOTAL	90	DEFASAGEM									
PLANO Nº 2											
E1 = VERDE	16	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	20	INICIO	0			
E2 = VERDE	14	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	18	INICIO	20			
E3 = VERDE	17	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	21	INICIO	38			
E4 = VERDE	17	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	21	INICIO	59			
CICLO TOTAL	80	DEFASAGEM									
PLANO Nº 3											
E1 = VERDE	16	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	20	INICIO	0			
E2 = VERDE	26	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	30	INICIO	20			
E3 = VERDE	16	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	20	INICIO	50			
E4 = VERDE	16	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	20	INICIO	70			
CICLO TOTAL	90	DEFASAGEM									
PLANO Nº 4											
E1 = VERDE	10	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	14	INICIO	0			
E2 = VERDE	10	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	14	INICIO	14			
E3 = VERDE	10	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	14	INICIO	28			
E4 = VERDE	10	AMARELO	4	VERM. GERAL	TOTAL	14	INICIO	42			
CICLO TOTAL	56	DEFASAGEM									
TABELA DE TROCAS DE PLANOS											
Nº	Nº	DIAS DA SEMANA							HORARIO		
Troc	Plan	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Hor	Min	Seg
	1		x	x	x	x	x	x	6	30	0
	2		x	x	x	x	x	x	20	0	0
	4	x	x	x	x	x	x	x	23	30	0
	3	x							17	0	0
	2	x							22	0	0
	2	x							7	0	0

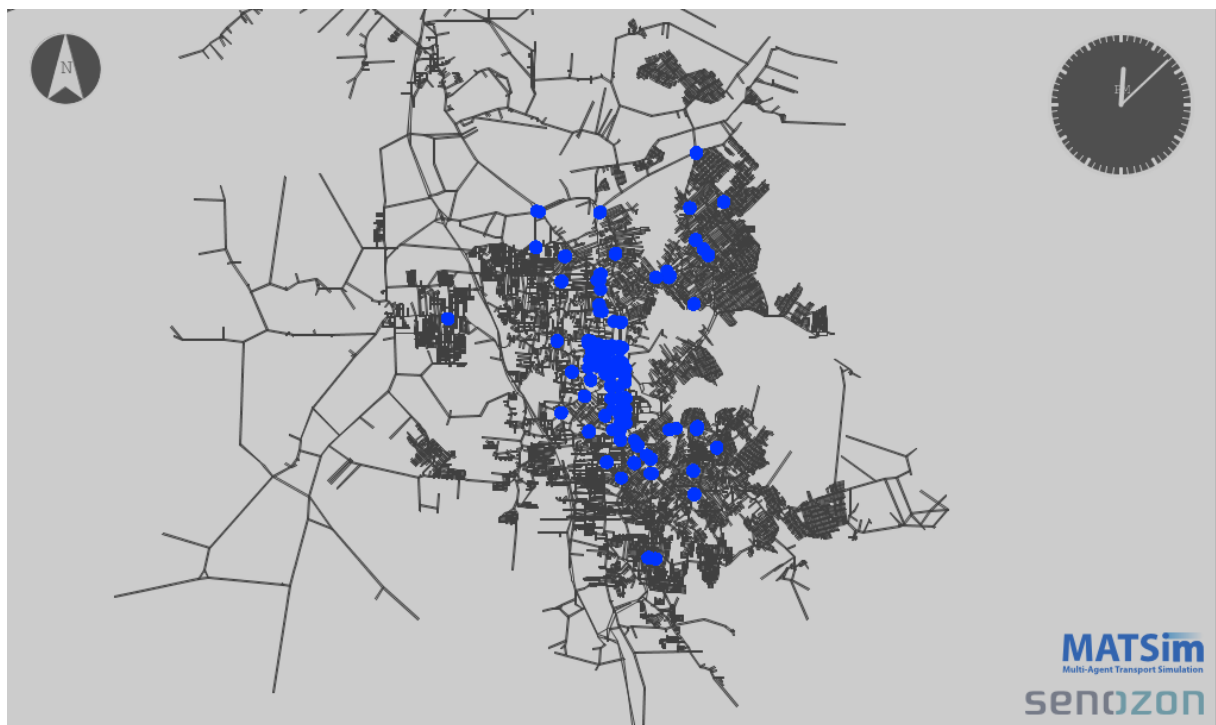
Fonte: DETRANS (2016).

Ao final do Figura 14 é possível identificar uma tabela de troca de planos, ela descreve a troca de planos durante os dias da semana e os horários de início de cada um destes planos. Neste trabalho foram considerados apenas os dias úteis da semana, de

segunda e sexta. De acordo com a tabela é possível observar que durante os dias úteis há três trocas de plano para este cruzamento, o primeiro plano inicia as 06h30min, o plano dois inicia as 20h00min e o terceiro plano inicia as 23h30min.

A partir dos documentos disponibilizados pelo DETRANS, a adaptação destes dados para o modelo seguiu as especificações do MATSim conforme foi descrito e exemplificado na Seção 3.2. Após a configuração dos dados de entrada é possível visualizar a distribuição dos semáforos no modelo do MATSim através da ferramenta Via (SENOZON, 2015). Além de permitir a visualização do cenário, o programa também pode gerar alguns resultados de análise como, por exemplo, gráficos das contagens de tráfego para cada arco da rede viária. Na Figura 15 é possível visualizar a representação da rede e a localização de semáforos:

Figura 15 – Localização dos semáforos da cidade de Joinville no modelo MATSim.



Fonte: Capturado pelo autor durante simulação (2016).

### 3.3.1 Limitações do Modelo

Por conta das características dos dados de entrada utilizados e da configuração básica do MATSim, o modelo construído conta com algumas limitações, dentre elas, as principais são:

- Apenas viagens utilizando carros foram modeladas, excluindo transporte coletivo,

caminhada, bicicleta, motocicleta, etc;

- A rede não conta com impedâncias como lombadas, faixas de pedestre e radares de velocidade;
- Diferenças no pavimento desconsideradas;
- O modelo deixa de fora incidentes de tráfego ou obras que modificariam as vias;
- A população modelada não representa a população real, deve-se calibrar o modelo para que represente os deslocamentos reais da cidade.



## 4 ANÁLISES E RESULTADOS

A partir da construção finalizada é possível realizar as simulações desejadas com o MATSim. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos como, comparações entre contagens real e simulada, e o desempenho das vias através do nível de serviço.

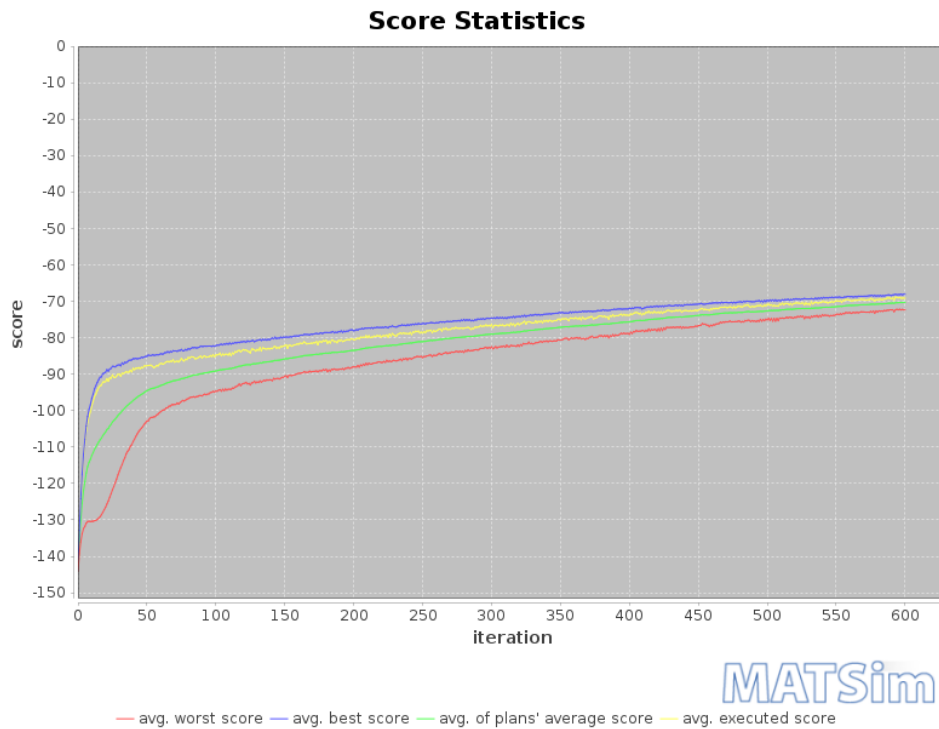
### 4.1 CONFIGURAÇÃO DA SIMULAÇÃO

Os parâmetros de simulação seguiram o padrão do MATSim. O critério de parada foi definido como 36 horas, pois a população continua em deslocamento mesmo quando passa das 24 horas diárias, essa é uma das características que demonstra que a população não está calibrada. Foram realizadas 600 iterações.

A Figura 16 ilustra a evolução das médias das notas dos planos da população ao longo das iterações. Os agentes recebem uma nota referente a execução de seus planos, cada agente recebe uma nota positiva ao executar atividades, recebe também notas negativas por chegar atrasado as atividades e ao deslocar-se entre uma atividade e outra. A média é calculada em decorrência destas notas.

A linha vermelha da Figura 16 representa a média das piores notas dos planos, a azul a média das melhores notas, a verde a média geral das notas dos planos e a linha amarela a média das notas dos planos executados pelos agentes. Percebe-se que as notas ficaram com valor negativo, isso pode ser em decorrência da presença dos dispositivos de semáforos, já que estes fazem os veículos esperarem mais, o que pode penalizar a locomoção.

Figura 16 – Evolução das notas avaliadas pelo MATSim ao longo das iterações.



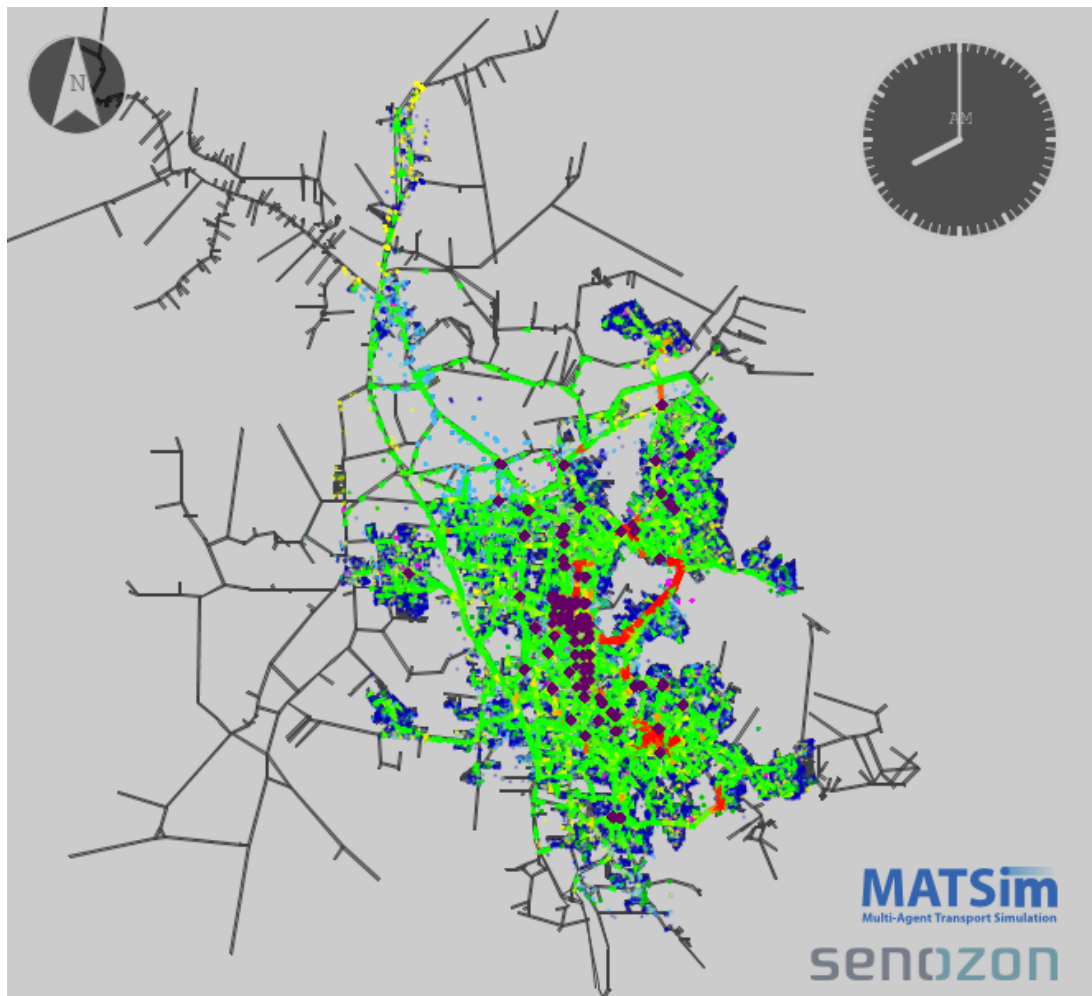
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

## 4.2 RESULTADOS

O MATSim oferece seus resultados no formato de eventos, que identifica tudo que um agente faz ao longo de sua rotina. Os eventos podem ser: sair de casa, entrar e sair de um arco, iniciar ou terminar uma atividade, etc (BICUDO, 2015). Esses eventos podem ser visualizados na ferramenta Via (SENOZON, 2015).

A Figura 17 ilustra a visualização do resultado final da simulação. Os pontos em verde ou vermelho ao longo das vias são os agentes realizando seus deslocamentos ao longo dos arcos que compõem a rede da cidade. A cor verde ilustra que os agentes estão alcançando velocidade de fluxo livre naquela via, ou próximo disso, já o vermelho mostra agentes parados ou quase parados na rede. Os pontos violeta representam os semáforos dispostos na rede. Já em relação as atividades realizadas pelos agentes, identifica-se através da Figura 17 os demais pontos coloridos fora da rede, os quais representam as atividades de educação, de residência, de trabalho, de compras e de lazer.

Figura 17 – Visualização do resultado da simulação do modelo de Joinville.



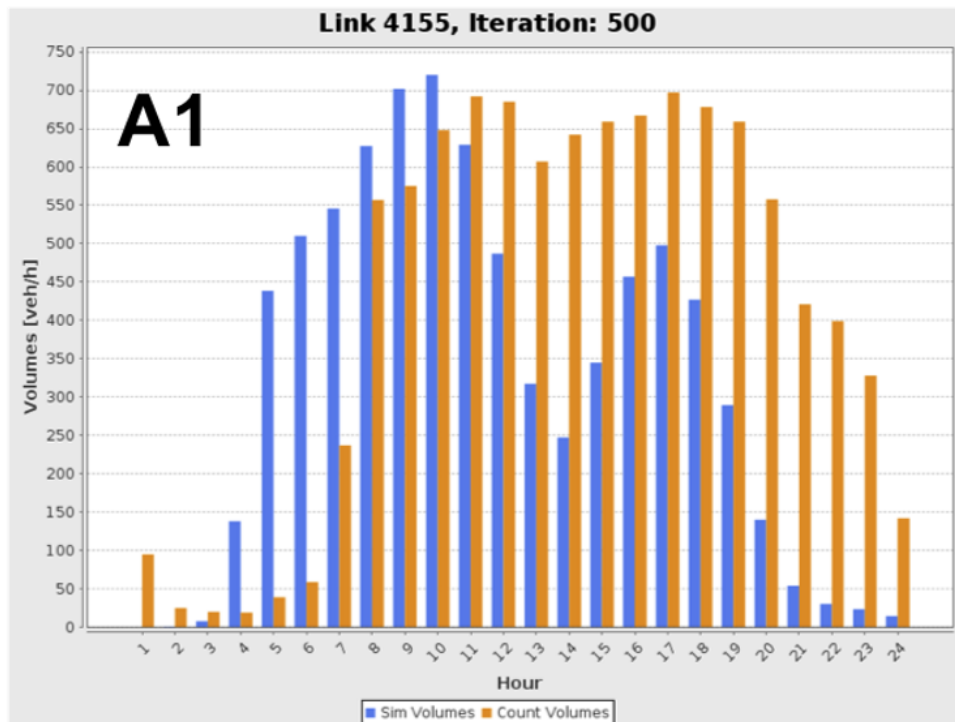
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

#### 4.2.1 Avaliação dos resultados de contagens

A avaliação de resultados gerados pela simulação pode ser feita em relação aos dados de contagens de tráfego. Pode-se comparar os dados reais inseridos no modelo, com os dados simulados e praticados pelos agentes. Para comparar esses resultados, foram selecionadas duas análises feitas do modelo anterior, sem a adição dos semáforos. A Figura 18 ilustra o resultado de contagem da Rua Dr. João Colin (A1), nota-se que as contagens, simulada e real, possuem mesma ordem de grandeza. Enquanto que a Figura 19 representa o resultado obtido na extensão do modelo com a adição de semáforos, pode-se notar que as contagens simuladas ficaram mais distantes da contagem fornecida.

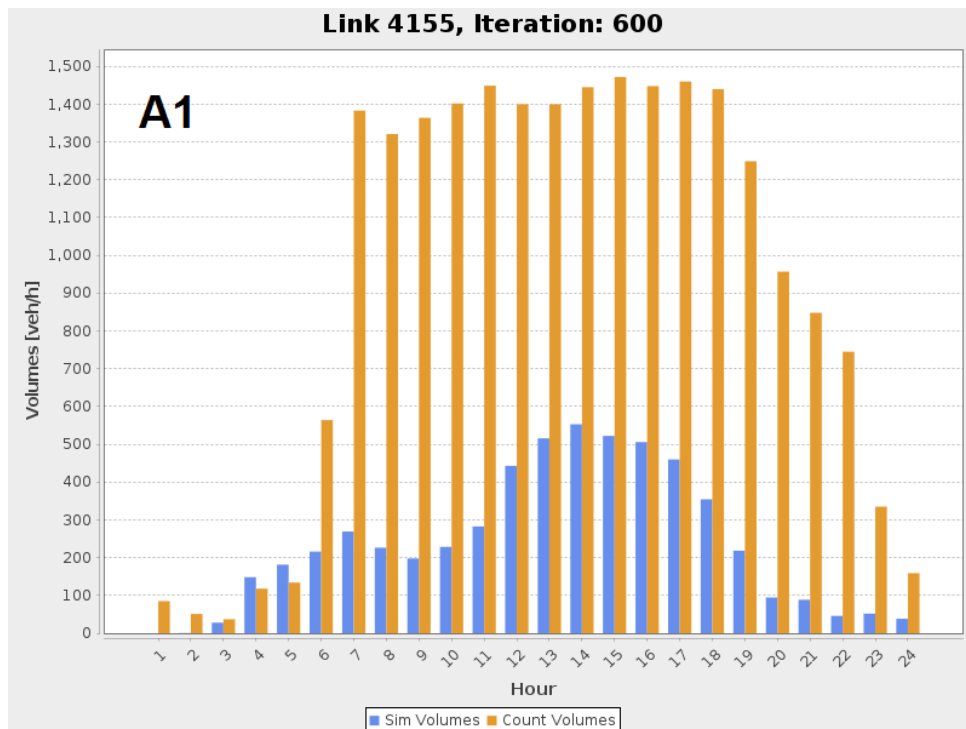
O resultado da Rua Tijucas(A2), ilustrado na Figura 20, demonstra um exemplo em que a contagem simulada ficou distante da real. A Figura 21 ilustra o resultado da mesma rua na extensão do modelo.

Figura 18 – Resultado comparativo de contagens da Rua Dr. João Colin modelo anterior.



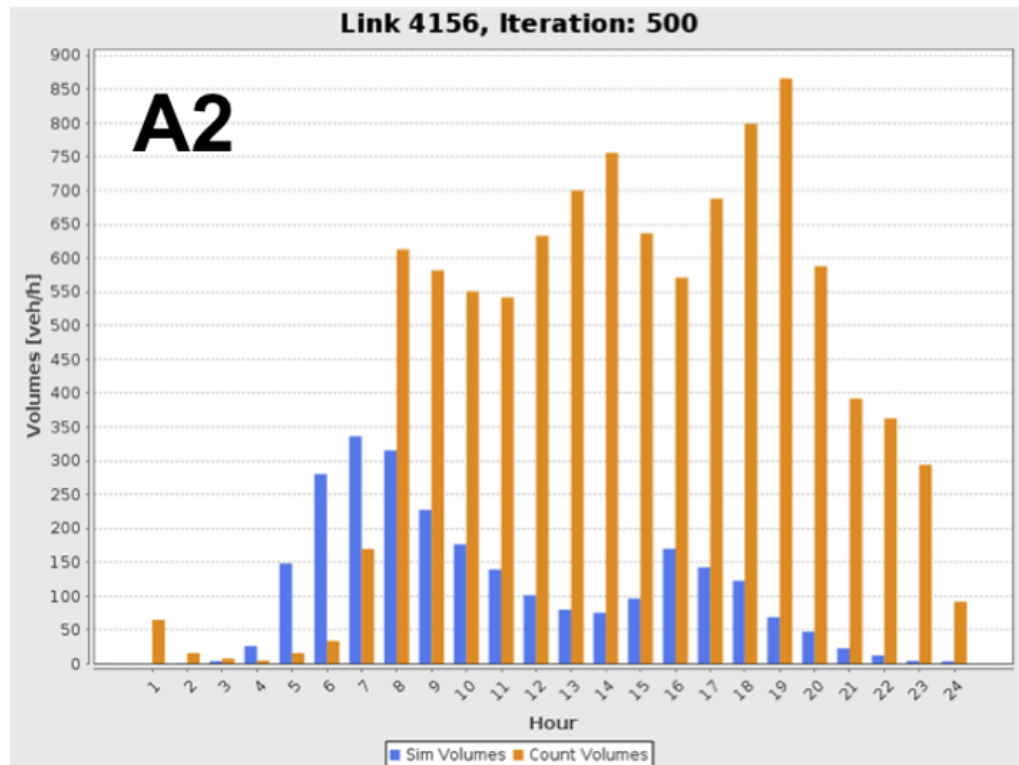
Fonte: Bicudo (2015).

Figura 19 – Resultado comparativo de contagens da Rua Dr. João Colin.



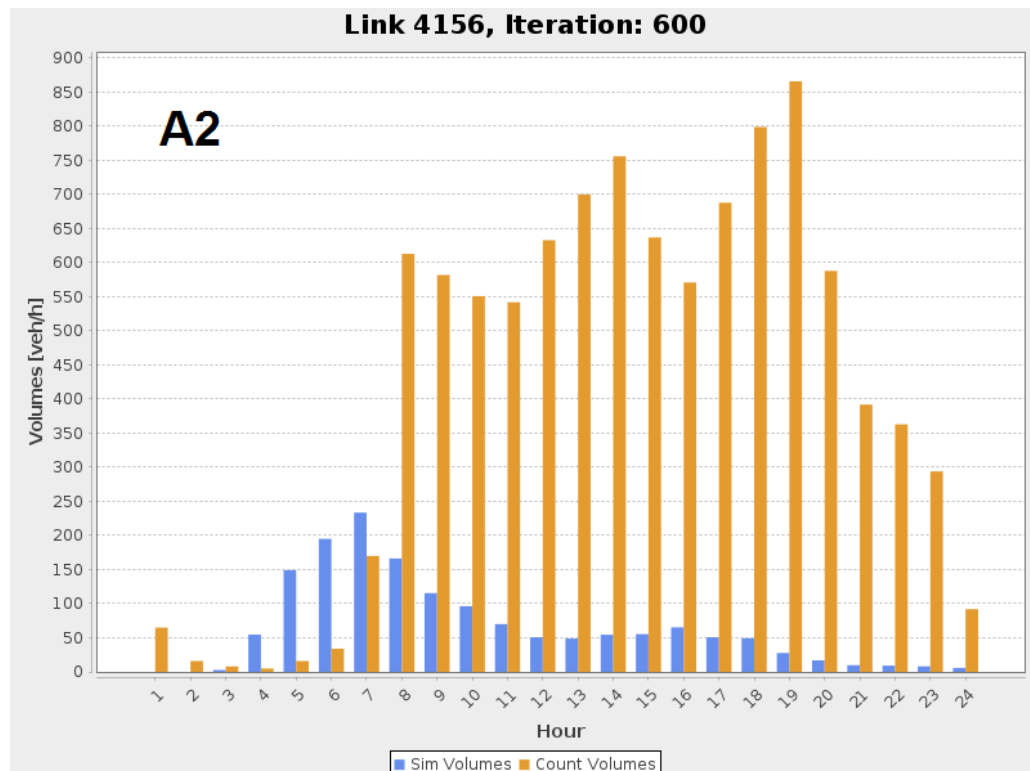
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 20 – Resultado comparativo de contagens da Rua Tijucas modelo anterior.



Fonte: Bicudo (2015).

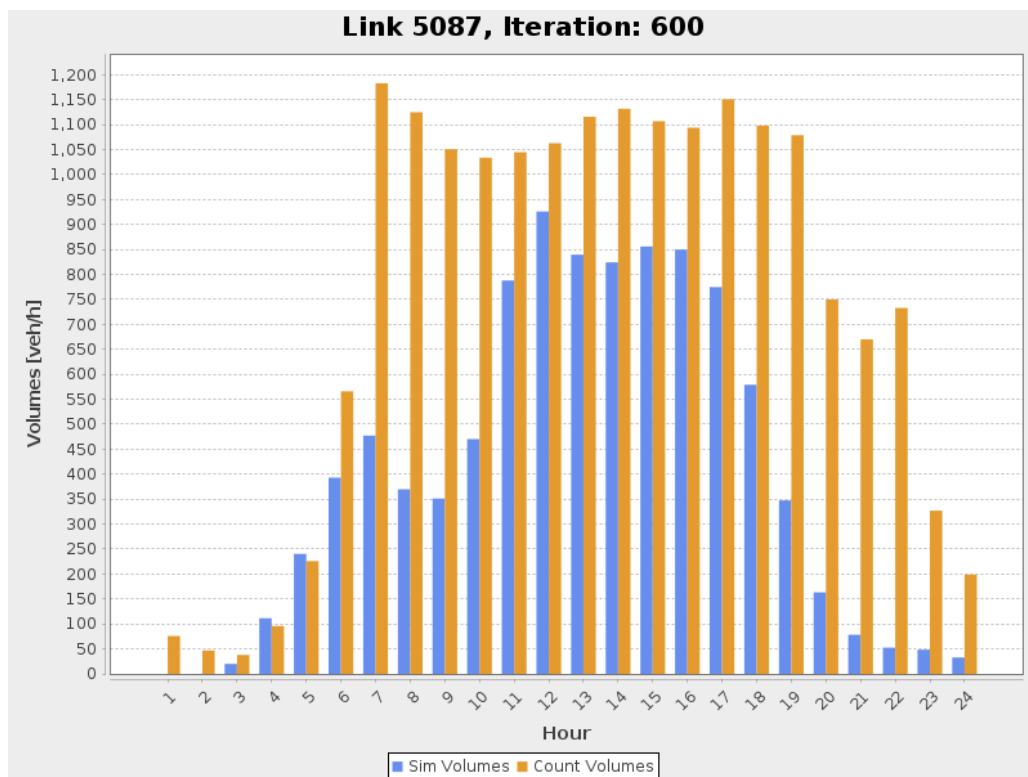
Figura 21 – Resultado comparativo de contagens da Rua Tijucas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

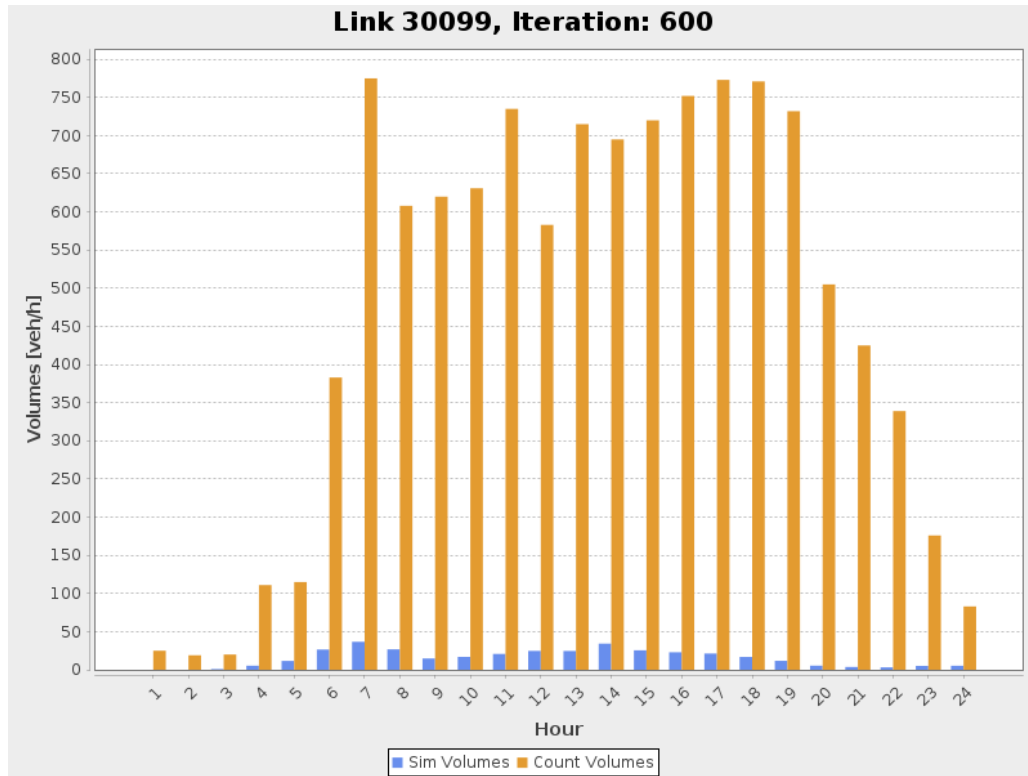
Através destas imagens nota-se que, para os dois arcos, as contagens simuladas ficaram mais distantes da contagem fornecida, o que pode ser resultado da adição de semáforos, os quais aumentam o tempo de viagem e penalizam o deslocamento dos agentes, o que faz com que eles optem por outros caminhos, buscando evitar vias com semáforos. No modelo atual, o arco que mais se aproximou da contagem real, foi a da rua Getúlio Vargas, como ilustra a Figura 22. E o que mais se distanciou da contagem real foi na rua Boehmerwald, ilustrado na Figura 23. O local de contagem possui semáforo, isso talvez seja a principal característica que influenciou para este resultado.

Figura 22 – Resultado comparativo de contagens da Rua Getúlio Vargas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 23 – Resultado comparativo de contagens da Rua Boehmerwald.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

### 4.3 NÍVEL DE SERVIÇO

Para execução dos cálculos de nível de serviço, foram selecionadas algumas vias que possuem semáforos de controle em rede e respeitam uma defasagem em cada cruzamento. As vias escolhidas estão identificadas na Figura 24.

No desenvolvimento do cálculo de nível de serviço, definiu-se uma velocidade de fluxo livre para as vias escolhidas. Para isso, foi considerada a velocidade máxima permitida, que nesse caso a velocidade máxima é de 60 km/h para todas as vias. Identificou-se também todos os arcos que iniciam a descrição da via e os arcos que finalizam essa descrição, como mostra a Tabela 6.





Com a informação dos arcos de entrada e saída, identifica-se o horário em que um agente inicia a viagem por essa via e o horário em que ele termina, com a diferença entre esses dois horários, pode-se calcular o tempo que o agente levou para completar o trajeto. Após o cálculo do tempo de viagem, com a informação de distância entre o arco inicial e o arco final, pode-se calcular a velocidade alcançada.

A Figura 25 ilustra o código que identifica todos os agentes que passam pelo arco inicial e final a partir dos resultados de eventos gerados pelo modelo. O código gera como resposta o Id do veículo e horário que ele entrou ou deixou o arco. Novos arquivos são gerados com estas informações e, a partir deles, é calculada a velocidade.

Figura 25 – Código para determinar os agentes que passam nos arcos de entrada e saída escolhidos.

```
public void handleEvent(LinkEnterEvent event) {
    Id<Link> entrada;
    double time1;
    Id<Vehicle> nome1;
    entrada = event.getLinkId();
    if(entrada.compareTo(Id.createLinkId(30730))== 0){
        time1=event.getTime();
        nome1=event.getVehicleId();
        System.out.println("Time entrada: " + time1 + " Id entrada: " + nome1);
    }
}
public void handleEvent(LinkLeaveEvent event){
    Id<Link> saida;
    double time2;
    Id<Vehicle> nome2;
    saida = event.getLinkId();

    if(saida.compareTo(Id.createLinkId(14299))== 0){
        time2=event.getTime();
        nome2=event.getVehicleId();
        System.out.println("Time Saida: " + time2 + " Id saida: " + nome2);
    }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A velocidade é dada em metros por segundo. Após o cálculo da velocidade, comparara-se os resultados com a tabela fornecida pelo HCM – 2000 ilustrada na Seção 2.4 e identifica-se o nível de serviço de cada uma das vias.

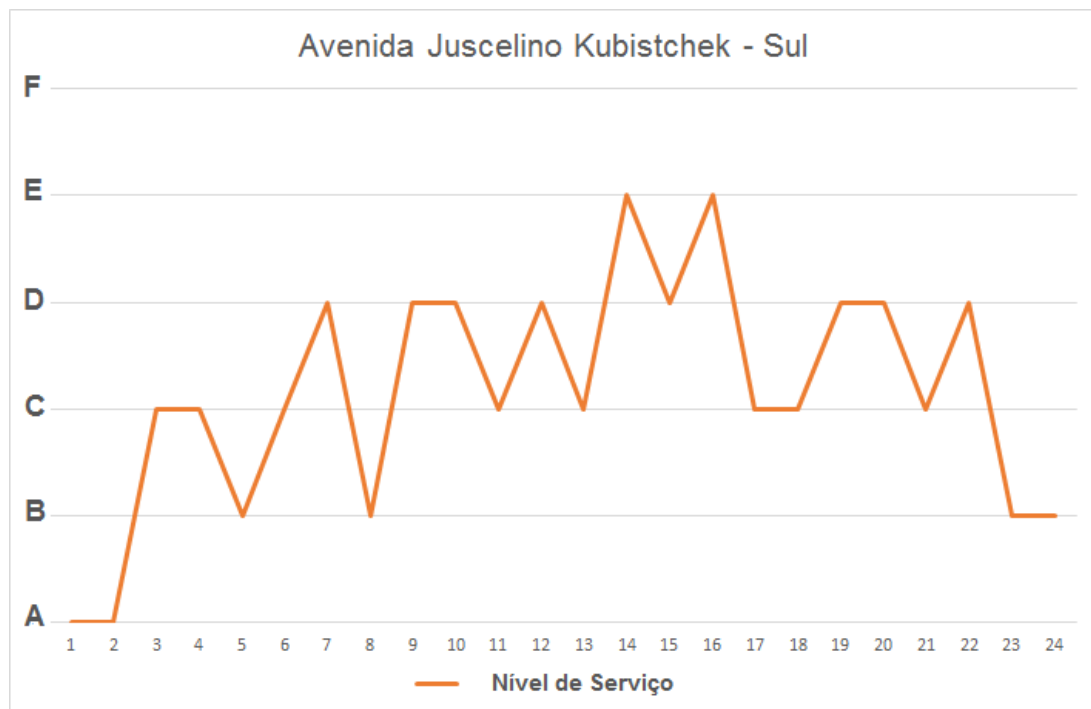
O manual do HCM (TRB, 2000) descreve que para o cálculo do nível de serviço escolhe-se uma hora em que se deseja avaliá-lo. Durante essa hora deve-se identificar qual intervalo de 15 minutos possui o maior fluxo de veículos, calcula-se então a velocidade média alcançada neste intervalo. Para o trabalho, o nível de serviço foi calculado para

todas as horas do dia, gerando gráficos com a variação dos níveis calculados.

#### 4.3.1 Resultados

Nesta seção são ilustrados os resultados dos níveis de serviço para as vias escolhidas. A Figura 26 ilustra a variação do nível de serviço para a Avenida Juscelino Kubitschek no sentido sul, por exemplo.

Figura 26 – Nível de Serviço X Hora do dia - Avenida Juscelino Kubitschek Sul.



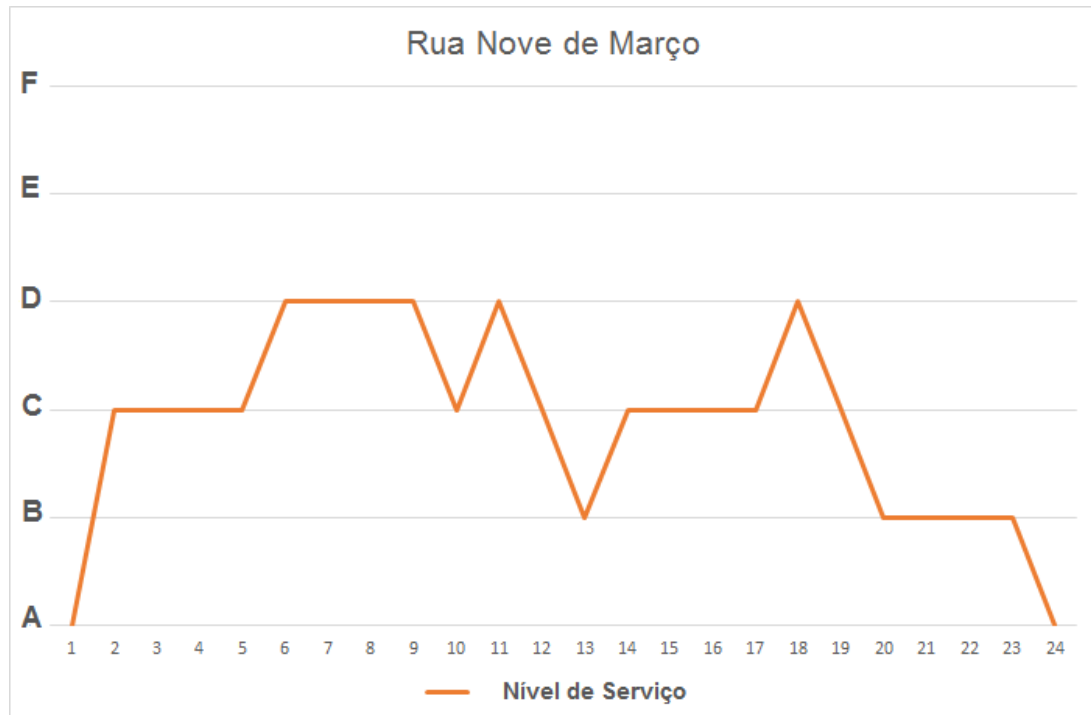
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Nota-se que ao longo do dia, há grandes variações de nível de serviço. Durante o período da madrugada, a via inicia com nível A, às 3 horas da manhã já está com nível C. Às 14 horas e às 16h da tarde, observa-se um pico de nível E, o que indica mais fluxo na via. Nos demais intervalos de hora os níveis vão decrescendo. O nível médio de serviço para o dia, foi o nível D, considerado como fluxo próximo à instabilidade. Deve-se afirmar que estes resultados são válidos somente para o cenário simulado, uma vez que este não representa a realidade.

Outro exemplo é o da Rua Nove de Março, principal ligação com o Terminal Central de ônibus da cidade. A Figura 27 ilustra os resultados encontrados. Nota-se que a via inicia a madrugada em nível A, às 2 horas observa-se nível C, e chega-se ao nível D às 6 horas. Variando entre B e D nas demais horas do dia, finalizando com nível A. O nível de serviço médio para essa via, ou seja, o nível que ocorre com mais frequência

durante o dia é o nível C, considerado como fluxo estável.

Figura 27 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Nove de Março.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

As notas de níveis de serviço para as vias, foram influenciadas diretamente pelas escolhas dos usuários, que buscam melhorar seu desempenho de deslocamento através do tempo de viagem. Pôde-se notar que os agentes procuram desviar de vias com presença de semáforos, uma vez que estes influenciam no tempo, aumentando o tempo total de viagem e penalizando o desempenho dos agentes.

O modelo, atrelado ao nível de serviço, pode servir como ferramenta importante para o planejamento de transporte, já que permite avaliar a configuração da via. Pode-se observar os horários em que os usuários enfrentam mais dificuldades em seu deslocamento, além de possibilitar testes de diferentes configurações dos tempos semafóricos, resultando em análises de como o nível de serviço pode variar em decorrência dessas mudanças.

Os demais gráficos gerados para o restante das vias, encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

#### 4.3.2 Discussões Finais

O presente capítulo apresentou os resultados obtidos a partir da simulação do modelo de Joinville, ao qual foi adicionado as informações de rede de semáforos conforme apresentado no Capítulo 3. Apresentou-se os principais resultados observados como, por

exemplo, as comparações entre as contagens do modelo anterior com o modelo atual. Outro resultado apresentado são os níveis de serviço. O nível de serviço foi identificado em vias com disposição de semáforos em rede, este indicador é uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento de transportes, já que este pode prover informações relevantes do desempenho da rede viária.

Vale ressaltar que os resultados obtidos são relevantes apenas para o cenário modelado, pois o modelo ainda possui limitações. Entre as principais limitações está a qualidade da população sintética, pois ela não representa os deslocamentos realizados com precisão, como pôde ser observado nas comparações de dados de contagens.

Além do tratamento da população, as limitações listadas no Capítulo 3 como, a não consideração do transporte coletivo, podem influenciar diretamente nos resultados encontrados para o modelo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento de transporte é importante para as cidades, visto que problemas como congestionamentos podem ser reduzidos em consequência deste planejamento. Dada a importância de ferramentas computacionais capazes de auxiliar a tomada de decisão, optou-se por modelos que consideram as decisões individuais dos usuários. Deste modo, foi desenvolvido uma extensão do modelo MATSim para a cidade de Joinville, extinguindo uma das limitações do modelo anterior.

A extensão do modelo, adicionou à rede viária as informações de semáforos. Foram introduzidas algumas especificações de semáforos e de configuração semafórica, exemplificando a divisão de semáforos em rede e semáforos isolados. Além destas características, o cálculo de nível de serviço para semáforos em rede foi abordado pelo trabalho e escolhido como uma das análises finais para o modelo.

A partir das especificações do MATSim, foram caracterizados todo os dados de entrada referentes à semáforos. Foram definidos os sistemas de sinais, os grupos de sinais e o controle de sinais. Foram configurada também descrições para definir semáforos com conversão à direita ou esquerda. Outra etapa da construção do modelo, foi a revisão dos sentidos das vias, que obteve algumas alterações pontuais.

Finalizadas as etapas de adaptação e construção, o modelo foi simulado com o uso do MATSim. A simulação gerou como resultados os eventos da população, que descrevem todos os deslocamentos e atividades desenvolvidos pelos agentes. Estes resultados puderam ser visualizados através do Via, ferramenta externa que permite visualização dos dados obtidos.

Com os resultados dos eventos, desenvolveu-se os cálculos para definir o nível de serviço. Foram escolhidas algumas vias que possuem semáforos de configuração em rede. O nível de serviço foi determinado para todas as horas do dia em cada uma das vias escolhidas, com isso é possível verificar e analisar a variação dos níveis durante um dia. Esses resultados podem auxiliar a tomada de decisões, principalmente em relação ao desempenho das vias.

Pode-se dizer que a principal contribuição do trabalho está no desenvolvimento da extensão do modelo de Joinville, com as informações de semáforos, através de uma ferramenta que pode auxiliar o planejamento de transportes de uma cidade. A partir dos resultados de níveis de serviço, é possível avaliar o desempenho da rede viária e da configuração de semáforos. Possibilita também a projeção de cenários e de testes através da simulação, antes de efetivar qualquer mudança. Pode-se avaliar diferentes configurações

de tempos semafóricos, e analisar como o desempenho da rede viária sofre alterações em decorrência dessas mudanças.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES A ESTUDOS FUTUROS

Como recomendações a trabalhos futuros, há primeiramente a calibração e atualização do modelo através da compreensão dos parâmetros de conguração do MATSim, com uso de novos dados. Há a possibilidade de mais extensões do modelo, com a modelagem de transporte coletivo, caminhões, táxis e motos. Pode-se considerar pedestres no modelo, e configurar os tempos de passagem destes na rede de semáforos. Algumas análises de rede de semáforos podem ser acrescentadas como: nível de serviço para semáforos isolados, número de paradas dos agentes e identificação de fila máxima. Pode-se realizar um ajuste da temporização semafórica, e testar controles em tempo real. Há também a possibilidade de aplicar o modelo para outras cidades, adaptando os dados de entrada para a cidade desejada.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO FILHO, Mário Angelo Nunes de. **Análise do processo de planejamento dos transportes como contribuição para a mobilidade urbana sustentável**. 2012. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

BALMER, M. **Travel Demand Modeling for Multi-agent Transport Simulations: Algorithms and Systems**. Tese (Doutorado) — Swiss Federal Institute of Technology of Zurich ETHZ, Zürich, 2007.

BARCELÓ, J. **Fundamentals of Traffic Simulation, International Series in Operations Research & Management Science**. [S.1]: Springer Science Business Media, 2010.

BEHRISCH, Michael., BIEKER, Laura., ERDMANN, Jakob., e KRAJZEWICZ, Daniel. (2011). **SUMO – Simulation of Urban Mobility, An Overview**. Institute of Transportation Systems, 2011.

BEZERRA, Barbara Stolte. **Semáforos: Gestão técnica, percepção do desempenho, duração dos tempos**. 2007. 241 p. Tese (Doutorado) - Programa de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Cap. 241.

BICUDO, Davi Guggisberg. **Aplicação do Simulador de Tráfego MATSim à Cidade de Joinville/SC**. 2015. 129 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Manual Interamericano de Trânsito**, 1971. Disponível em: <<http://www.estantevirtual.com.br/editora/dner>> Acesso em: abr, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Manual de Semáforos**, 1984. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/csttt/files/2013/05/Manual-Semaforos-Denatran-1984.pdf>> Acesso em: abr, 2016.

\_\_\_\_\_. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Sinalização Semafórica**. Volume V. Brasília. (2014). Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/>> Acesso em: abr, 2016.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO (DETRANS) (Joinville). **Localização e configuração de semáforos**. 2016.

FARINHA, Pedro Miguel Lourenço. **Modelos de simulação em MATSim aplicados à análise de sistemas de transportes**. 2013. 159 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

FREITAS, Jose Ricardo et al. Indicadores de desempenho como instrumento para gestão de custos logísticos de transportes – estudo de caso: Lima transportes. **Congresso Brasileiro de Custos**, Bento Gonçalves - RS, nov. 2012.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). **Plano de Mobilidade de Joinville**. Prefeitura Municipal, 2015a.

\_\_\_\_. **Cidade em Dados**. Prefeitura Municipal, 2015b.

GOOGLE. **Street View**. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/views/>>. Acesso em: agosto de 2016.

HALLMANN, Henrique Vieira. **Comparação entre softwares simuladores de trânsito**. 2011. 104 p. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HILBRICH, Robert. **SUMO** (Simulation of Urban Mobility). 2013. Disponível em: <[http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931\\_read-41000/](http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/)>. Acesso em: 20 maio 2016.

HORNI, Andreas; NAGEL, Kai; AXHAUSEN, Kay W. **The Multi-Agent Transport Simulation MATSim**. London: Ubiquity. (2016).

MARTIN, W. A.; MCGUCKIN, N.A. **Travel estimation for urban planning**. National Cooperative Highway Research Program. Washington: Transportation Research Board – National Research Council, 1998.

MATSim [Online]. 2016. Disponível em: <<http://matsim.org/>>. Acesso em: abr, 2016.



MÁXIMO, Amanda Carolina; SILVEIRA, Carolina Stolf; HAGEMANN, Luiz Fernando. **Metodologia de desenvolvimento do plano de mobilidade urbana de Joinville/SC**. Joinville, 2015.

MEIRELLES, Alexandre Augusto de Castro. Sistemas de Transportes Inteligentes: Aplicação da Telemática na Gestão do Trânsito Urbano. **Revista Ip**, Belo Horizonte, Mg, v. 1, n. 1, p.107-118, jun. 1999. Disponível em: <[http://www.ip.pbh.gov.br/ANO1\\_N1\\_sum.html](http://www.ip.pbh.gov.br/ANO1_N1_sum.html)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

NAZARETH, Veridianne Soares; SOUSA, Luiz Afonso Penha de; RIBEIRO, Paulo Cezar Martins. Análise comparativa entre simuladores de fluxo de tráfego. **Rio de Transportes**, Rio de Janeiro, ago. 2015.

OLIVEIRA, J. L. **Verificação da qualidade da representação do tráfego no simulador aimsun a partir de metodologia de calibração**. 2014. 73 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil do UniCeub - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.

PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2005.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação** Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. Série Pesquisa Operacional V.3.

RANEY, B. K. **Learning Framework for Large-scale Multi-agent Simulations**. Tese (Doutorado) — Swiss Federal Institute of Technology of Zurich - ETHZ, Zürich, 2005.

RIESER, M. **Adding Transit to an Agent-based Transportation Simulation: Concepts and Implementation**. Tese (Doutorado) — Technische Universität Berlin, Berlin, 2010.

SENOZON AG. Via. 1.5. ed. Zürich, 2015. Disponível em: <<http://via.senozon.com/>>.

SUMO – Simulation of Urban Mobility [Online]. 2016. Disponível em: <[www.sumo.dlr.de/](http://www.sumo.dlr.de/)>. Acesso em: ago, 2016.

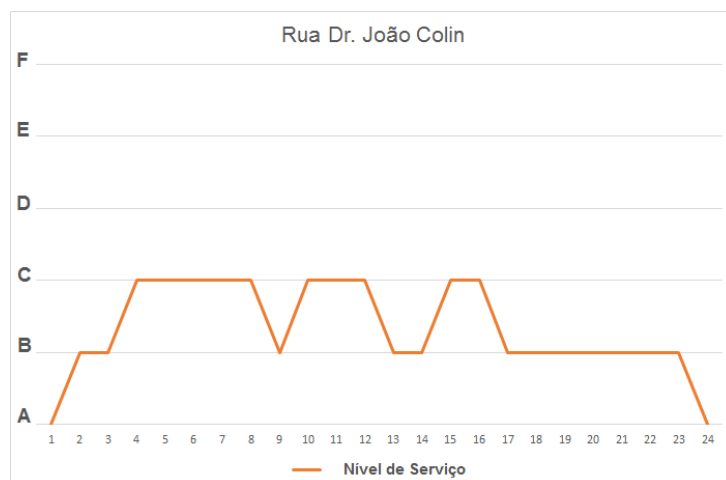
Transportation Research Board (TRB). **Highway capacity manual**. Washington D. C., 2000.

TSS – Transport Simulation Systems. **Aimsun 8 Users' Manual**, 2015.

WITTE, A. C. **Análise do tráfego na região central da cidade de Gaspar através de simulações**. 2015. 100 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

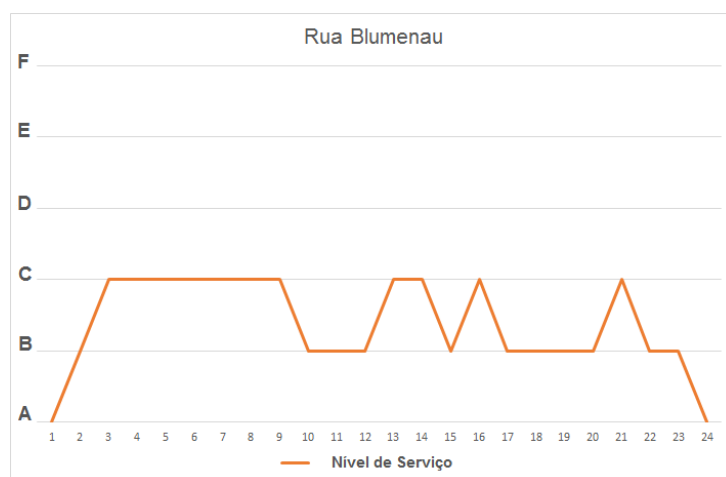
## **APÊNDICE A – RESULTADOS NÍVEIS DE SERVIÇO**

Figura 28 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Dr. João Colin.



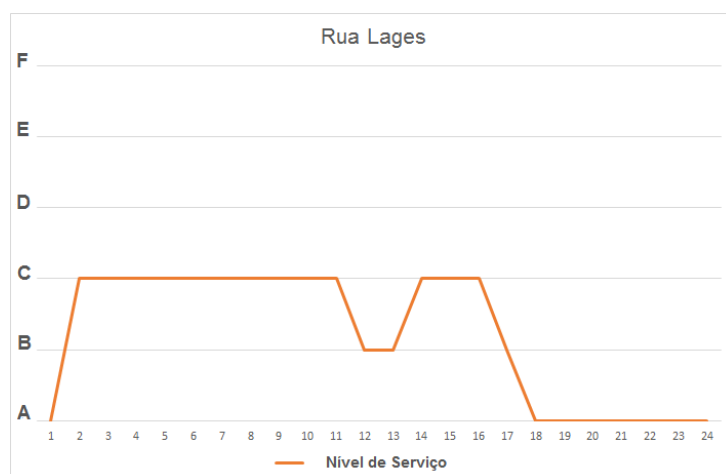
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 29 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Blumenau.



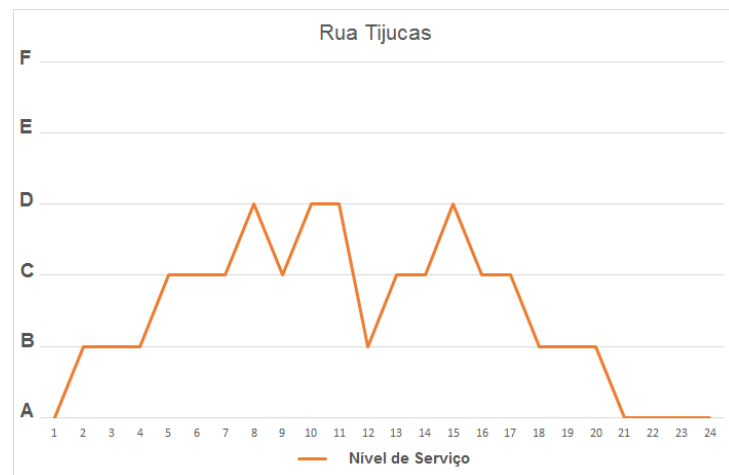
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 30 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Lages.



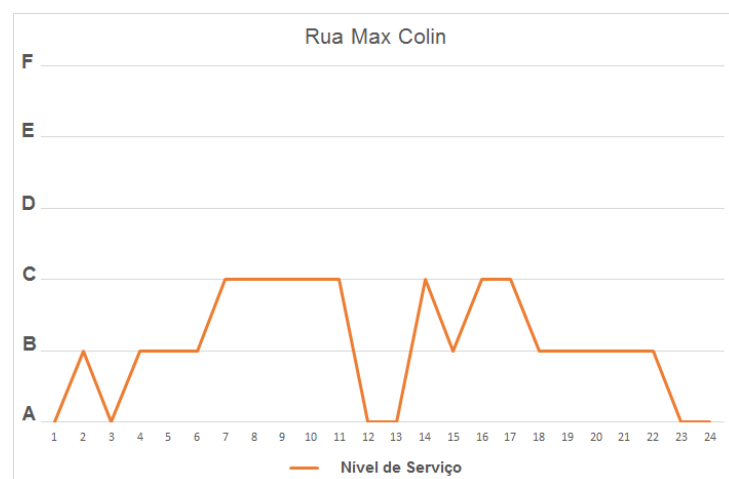
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 31 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Tijucas.



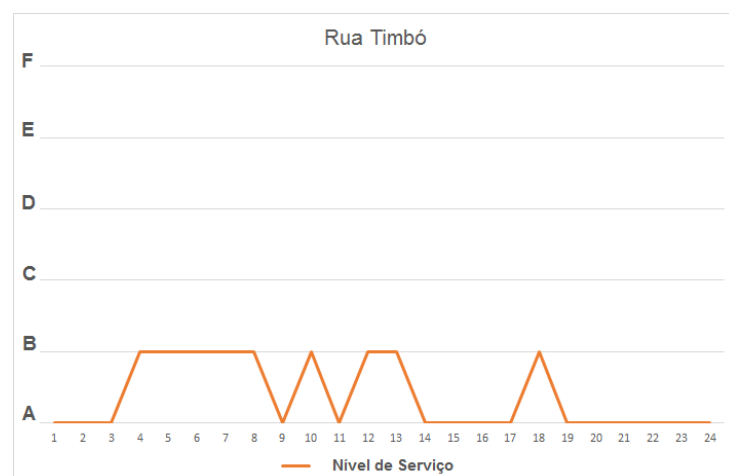
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 32 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Max Colin.



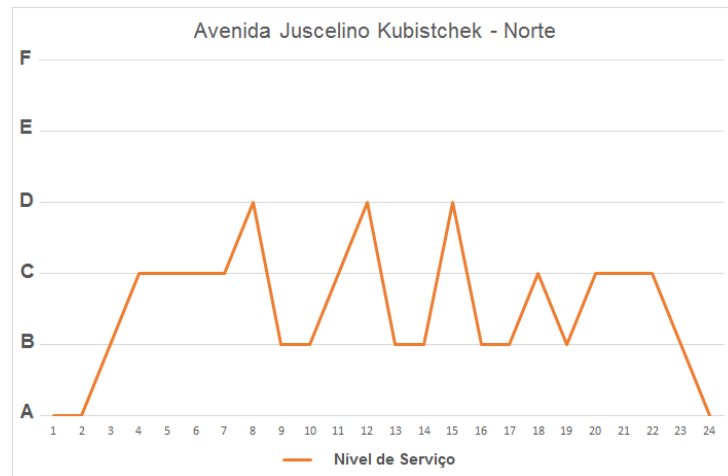
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 33 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Timbo.



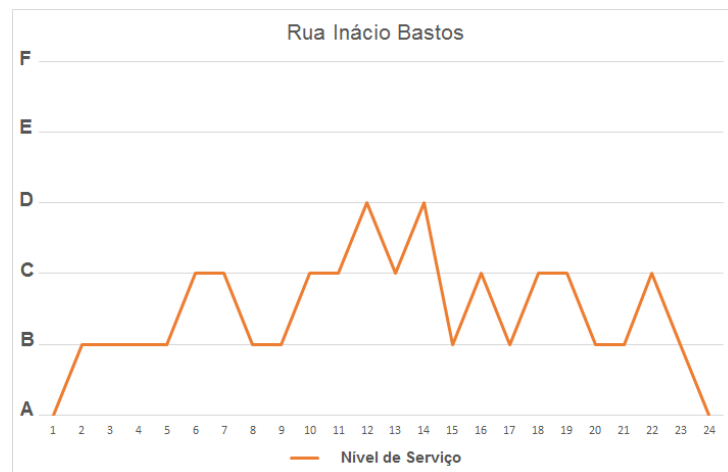
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 34 – Nível de Serviço X Hora do dia - Avenida Juscelino Kubitschek Norte.



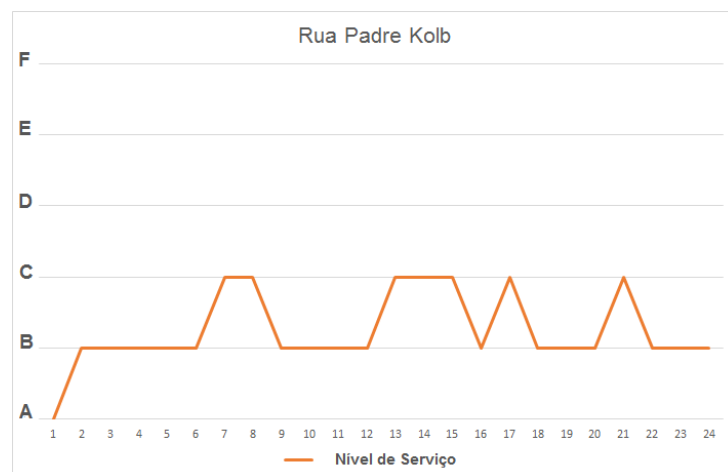
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 35 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Inacio Bastos.



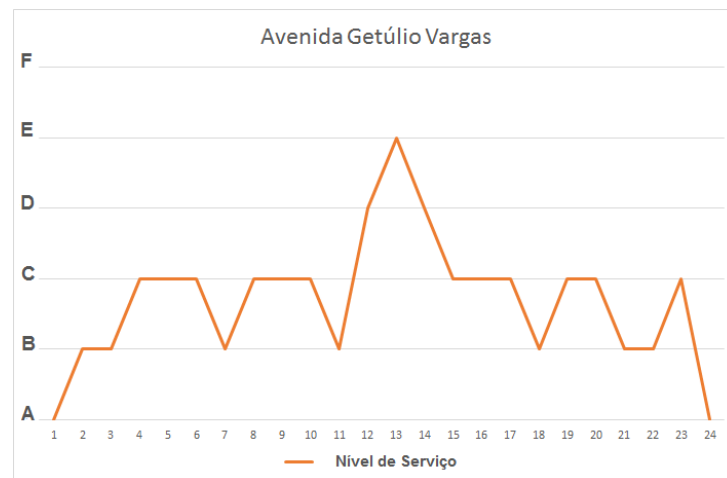
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 36 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua Padre Kolb.



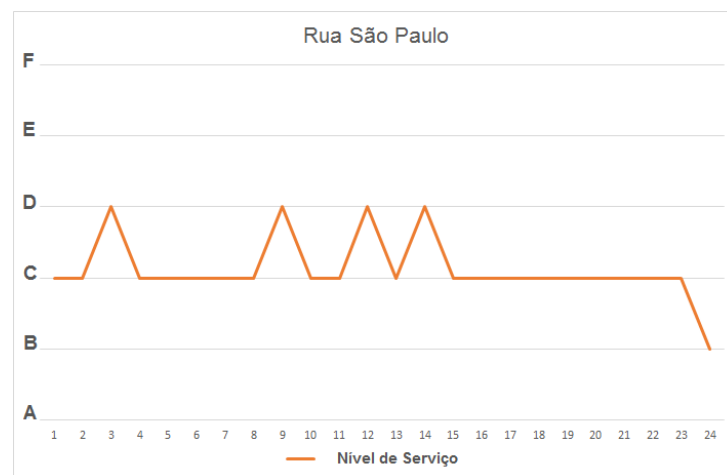
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 37 – Nível de Serviço X Hora do dia - Avenida Getúlio Vargas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 38 – Nível de Serviço X Hora do dia - Rua São Paulo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

## A.1 MÉDIA DOS NÍVEIS DE SERVIÇO

Tabela 7 – Média do nível de serviço por rua.

Ruas	Média do Nível de Serviço
Dr. João Colin	B
Blumenau	C
Nove de Março	C
Lages	C
Tijucas	C
Max Colin	C
Timbó	A
Avenida JK Norte	C
Avenida JK Sul	D
Inácio Bastos	C
Padre Kolb	C
Avenida Getúlio Vargas	C
São Paulo	C

Elaborado pelo autor (2016).



## **APÊNDICE B – SÍNTESE DA DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE SINAIS**

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<signalSystems xsi:schemaLocation="http://www.matsim.org/files/dtd
http://www.matsim.org/files/dtd/signalSystems_v2.0.xsd"
xmlns="http://www.matsim.org/files/dtd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <signalSystem id="PauloSchoederComBoehmerwald">
    <signals>
      <signal linkIdRef="16628" id="PauloSchoederBr"/>
      <signal linkIdRef="24188" id="PauloSchoederBai"/>
      <signal linkIdRef="30099" id="BoehmerwaldtCent"/>
      <signal linkIdRef="15789" id="BoehmerwaldtBai"/>
    </signals>
  </signalSystem>
  <signalSystem id="SantosDumontComTuiuti">
    <signals>
      <signal linkIdRef="20110" id="SantosDumontAero"/>
      <signal linkIdRef="1766" id="SantosDumontCentro"/>
      <signal linkIdRef="12066" id="TuiutiDireita"/>
      <signal linkIdRef="30031" id="TuiutiEsquerda"/>
    </signals>
  </signalSystem>
  .
  .
  .

  <signalSystem id="CegonhasComFrontin">
    <signals>
      <signal linkIdRef="19037" id="CegonhasCentro"/>
      <signal linkIdRef="15293" id="CegonhasBairro"/>
      <signal linkIdRef="18301" id="FrontinDireita"/>
      <signal linkIdRef="25191" id="FrontinEsquerda"/>
    </signals>
  </signalSystem>
</signalSystems>

```

## **APÊNDICE C – SÍNTESE DA DESCRIÇÃO DOS GRUPOS DE SINAIS**

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<signalGroups xsi:schemaLocation="http://www.matsim.org/files/dtd
http://www.matsim.org/files/dtd/signalGroups_v2.0.xsd"
xmlns="http://www.matsim.org/files/dtd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <signalSystem refId="PauloSchoederComBoehmerwald">
    <signalGroup id="1">
      <signal refId="PauloSchoederBr"/>
    </signalGroup>
    <signalGroup id="2">
      <signal refId="PauloSchoederBai"/>
    </signalGroup>
    <signalGroup id="3">
      <signal refId="BoehmerwaldtCent"/>
    </signalGroup>
    <signalGroup id="4">
      <signal refId="BoehmerwaldtBai"/>
    </signalGroup>
  </signalSystem>
  <signalSystem refId="SantosDumontComTuiuti">
    <signalGroup id="1">
      <signal refId="SantosDumontAero"/>
    </signalGroup>
    <signalGroup id="2">
      <signal refId="SantosDumontCentro"/>
    </signalGroup>
    <signalGroup id="3">
      <signal refId="TuiutiDireita"/>
    </signalGroup>
    <signalGroup id="4">
      <signal refId="TuiutiEsquerda"/>
    </signalGroup>
  </signalSystem>

```

.  
.  
.  
.

```

<signalSystem refId="CegonhasComFrontin">
<signalGroup id="1">
  <signal refId="CegonhasCentro"/>
</signalGroup>
<signalGroup id="2">
  <signal refId="CegonhasBairro"/>
</signalGroup>
<signalGroup id="3">
  <signal refId="FrontinDireita"/>

```

```
</signalGroup>
<signalGroup id="4">
  <signal refId="FrontinEsquerda"/>
</signalGroup>
</signalSystem>
</signalGroups>
```

## **APÊNDICE D – SÍNTESE DA DESCRIÇÃO DOS CONTROLES DE SINAIS**

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<signalControl xsi:schemaLocation="http://www.matsim.org/files/dtd
http://www.matsim.org/files/dtd/signalControl_v2.0.xsd"
xmlns="http://www.matsim.org/files/dtd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <signalSystem refId="PauloSchoederComBoehmerwald">
    <signalSystemController>
      <controllerIdentifier>DefaultPlanbasedSignalSystem
Controller</controllerIdentifier>
      <signalPlan id="1">
        <start daytime="00:00:00"/>
        <stop daytime="06:30:00"/>
        <cycleTime sec="56"/>
        <offset sec="0"/>
        <signalGroupSettings refId="1">
          <onset sec="0"/>
          <dropping sec="14"/>
        </signalGroupSettings>
        <signalGroupSettings refId="2">
          <onset sec="14"/>
          <dropping sec="28"/>
        </signalGroupSettings>
        <signalGroupSettings refId="3">
          <onset sec="28"/>
          <dropping sec="42"/>
        </signalGroupSettings>
        <signalGroupSettings refId="4">
          <onset sec="42"/>
          <dropping sec="56"/>
        </signalGroupSettings>
      </signalPlan>
      <signalPlan id="2">
        <start daytime="06:30:00"/>
        <stop daytime="20:00:00"/>
        <cycleTime sec="90"/>
        <offset sec="0"/>
        <signalGroupSettings refId="1">
          <onset sec="0"/>
          <dropping sec="20"/>
        </signalGroupSettings>
        <signalGroupSettings refId="2">
          <onset sec="20"/>
          <dropping sec="40"/>
        </signalGroupSettings>
        <signalGroupSettings refId="3">
          <onset sec="40"/>
          <dropping sec="65"/>
        </signalGroupSettings>
      </signalPlan>
    </signalSystemController>
  </signalSystem>
</signalControl>

```

```

    <signalGroupSettings refId="4">
      <onset sec="65"/>
      <dropping sec="85"/>
    </signalGroupSettings>
  </signalPlan>
  <signalPlan id="3">
    <start daytime="20:00:00"/>
    <stop daytime="22:30:00"/>
    <cycleTime sec="80"/>
    <offset sec="0"/>
    <signalGroupSettings refId="1">
      <onset sec="0"/>
      <dropping sec="20"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="2">
      <onset sec="20"/>
      <dropping sec="38"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
      <onset sec="38"/>
      <dropping sec="59"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
      <onset sec="59"/>
      <dropping sec="80"/>
    </signalGroupSettings>
  </signalPlan>
  <signalPlan id="4">
    <start daytime="22:30:00"/>
    <stop daytime="23:59:59"/>
    <cycleTime sec="56"/>
    <offset sec="0"/>
    <signalGroupSettings refId="1">
      <onset sec="0"/>
      <dropping sec="14"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="2">
      <onset sec="14"/>
      <dropping sec="28"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
      <onset sec="28"/>
      <dropping sec="42"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
      <onset sec="42"/>
      <dropping sec="56"/>
    </signalGroupSettings>
  </signalPlan>

```



```

        </signalPlan>
    </signalSystemController>
</signalSystem>
    <signalSystem refId="SantosDumontComTuiuti">
        <signalSystemController>
            <controllerIdentifier>DefaultPlanbasedSignalSystem
            Controller</controllerIdentifier>
            <signalPlan id="1">
                <start daytime="00:00:00"/>
                <stop daytime="06:30:00"/>
                <cycleTime sec="56"/>
                <offset sec="0"/>
                <signalGroupSettings refId="2">
                    <onset sec="0"/>
                    <dropping sec="14"/>
                </signalGroupSettings>
                <signalGroupSettings refId="1">
                    <onset sec="14"/>
                    <dropping sec="28"/>
                </signalGroupSettings>
                <signalGroupSettings refId="3">
                    <onset sec="28"/>
                    <dropping sec="42"/>
                </signalGroupSettings>
                <signalGroupSettings refId="4">
                    <onset sec="42"/>
                    <dropping sec="56"/>
                </signalGroupSettings>
            </signalPlan>
            <signalPlan id="2">
                <start daytime="06:30:00"/>
                <stop daytime="20:00:00"/>
                <cycleTime sec="88"/>
                <offset sec="0"/>
                <signalGroupSettings refId="2">
                    <onset sec="0"/>
                    <dropping sec="18"/>
                </signalGroupSettings>
                <signalGroupSettings refId="1">
                    <onset sec="18"/>
                    <dropping sec="42"/>
                </signalGroupSettings>
                <signalGroupSettings refId="3">
                    <onset sec="42"/>
                    <dropping sec="66"/>
                </signalGroupSettings>
                <signalGroupSettings refId="4">
                    <onset sec="66"/>

```

```

        <dropping sec="88"/>
    </signalGroupSettings>
</signalPlan>
<signalPlan id="3">
    <start daytime="20:00:00"/>
    <stop daytime="23:59:59"/>
    <cycleTime sec="80"/>
    <offset sec="0"/>
    <signalGroupSettings refId="2">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="18"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="1">
        <onset sec="18"/>
        <dropping sec="38"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
        <onset sec="38"/>
        <dropping sec="58"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
        <onset sec="58"/>
        <dropping sec="78"/>
    </signalGroupSettings>
</signalPlan>
</signalSystemController>
</signalSystem>

.
.
.
.

<signalSystem refId="CegonhasComFrontin">
<signalSystemController>
    <controllerIdentifier>DefaultPlanbasedSignalSystem
    Controller</controllerIdentifier>
    <signalPlan id="1">
        <start daytime="00:00:00"/>
        <stop daytime="06:30:00"/>
        <cycleTime sec="28"/>
        <offset sec="0"/>
        <signalGroupSettings refId="1">
            <onset sec="0"/>
            <dropping sec="14"/>
        </signalGroupSettings>
        <signalGroupSettings refId="2">
            <onset sec="0"/>

```

```

        <dropping sec="14"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
        <onset sec="14"/>
        <dropping sec="28"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
        <onset sec="14"/>
        <dropping sec="28"/>
    </signalGroupSettings>
</signalPlan>
<signalPlan id="2">
    <start daytime="06:30:00"/>
    <stop daytime="20:00:00"/>
    <cycleTime sec="56"/>
    <offset sec="0"/>
    <signalGroupSettings refId="1">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="36"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="2">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="36"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
        <onset sec="36"/>
        <dropping sec="56"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
        <onset sec="36"/>
        <dropping sec="56"/>
    </signalGroupSettings>
</signalPlan>
<signalPlan id="3">
    <start daytime="20:00:00"/>
    <stop daytime="22:00:00"/>
    <cycleTime sec="46"/>
    <offset sec="0"/>
    <signalGroupSettings refId="1">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="28"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="2">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="28"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
        <onset sec="28"/>
    </signalGroupSettings>

```

```

        <dropping sec="46"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
        <onset sec="28"/>
        <dropping sec="46"/>
    </signalGroupSettings>
</signalPlan>
<signalPlan id="4">
    <start daytime="22:00:00"/>
    <stop daytime="23:59:59"/>
    <cycleTime sec="38"/>
    <offset sec="0"/>
    <signalGroupSettings refId="1">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="22"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="2">
        <onset sec="0"/>
        <dropping sec="22"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="3">
        <onset sec="22"/>
        <dropping sec="38"/>
    </signalGroupSettings>
    <signalGroupSettings refId="4">
        <onset sec="22"/>
        <dropping sec="38"/>
    </signalGroupSettings>
</signalPlan>
</signalSystemController>
</signalSystem>
</signalControl>

```